







**PACIFICS – 07
Station d'Imprégnation**

**Cahier des charges pour l'étude et la réalisation d'une
station d'imprégnation**

	Noms	Fonction	Institut	Date et signature
Rédigé par	Thibault GENESTIER	Ingénieur chercheur	IRFU/DACM//LEAS	01/02/2026 
Vérifié par	Françoise RONDEAUX	Ingénieur chercheur	IRFU/DACM//LEAS	27/02/2026 
Approuvé par :	Maria DURANTE	Ingénieur chercheur	IRFU/DACM//LEAS	05/02/2026 
	Sylvain ROUX	Ingénieur chercheur	IRFU/DACM//LEAS	27/02/2026 



PACIFICS – 07 – Cahier des Charges d'une station d'imprégnation

Page 2 / 45

SAFIRS-00922-D

Tableau des modifications			
Version	Date	Pages modifiées	Commentaires
0	20/02/2025	Toutes	Création du document.
A	27/02/2026		Emission du document
B	02/04/2026	22	Ajustement des performances du circuit vide « Résine »
		8	§3.2 - Synchronisation avec le Projet de Marché de la décomposition des prestations
		37	§12 - Ajout de la mention liée à la garantie de l'Equipement
C	04/06/2026	42	Mise à jour de la Table des matières
			§15.2.6 : Ajout des livrables liés à la facturation
D	10/06/2026	37	§13 Ajustement du nom des dates estimées



Table des matières

1.	Contexte du projet	6
1.1	Glossaire.....	6
1.2	Présentation du CEA et de l'IRFU	6
1.3	Présentation générale du projet	6
2.	Documents, normes et certifications applicables	7
2.1	Général	7
2.2	Normes et règles générales	7
2.3	Certification CE.....	7
3.	Etendue de la prestation	8
3.1	Objet du marché	8
3.2	Prestations à la charge du Titulaire	8
3.2.1	Etudes détaillées	8
3.2.2	Approvisionnements	8
3.2.3	Réalisation	8
3.3	Fournitures du CEA	8
4.	Description du processus	9
4.1	Station d'imprégnation actuelle	10
4.2	Exemple de cycle d'imprégnation.....	12
4.3	Modes de fonctionnement de l'Equipement et synoptiques d'illustration.....	13
5.	Caractéristiques techniques des composants	15
5.1	Partie résine.....	15
5.1.1	Résines mises en œuvre	15
5.1.2	Réservoirs d'injection et de réception (configuration « réservoirs »)	15
5.1.3	Tuyaux	16
5.1.4	Pompe péristaltique	17
5.1.5	Vannes sur le circuit de résine	17
5.1.6	Malaxeurs (configuration « Malaxeurs »)	18
5.1.7	Données liées à la partie « Résine ».....	21
5.2	Partie vide.....	21
5.2.1	Performances attendues	21
5.2.2	Jauges à vide.....	22
5.2.3	Pompes à vide	22
5.2.4	« Clarinettes ».....	23
5.2.5	Vannes « vide »	23
5.2.6	Données liées à la partie « vide »	24
5.3	Partie gaz.....	24
5.3.1	Gaz utilisé	24
5.3.2	Circuit gaz et définition de la pression.....	24



5.3.3	Données liées à la partie « gaz »	24
5.4	Partie chauffage.....	24
5.4.1	Généralités	24
5.4.2	Chauffage des réservoirs	25
5.4.3	Chauffage de la tuyauterie	25
5.4.4	Chauffage du moule	25
5.4.5	Cycles thermiques et système de régulation de l'Équipement.....	26
5.4.6	Données liées à la partie « Chauffage »	27
5.5	Environnement.....	27
5.6	Standardisation.....	28
6.	Système de contrôle, interface homme-machine et enregistrement des données.....	29
6.1	Informations générales	29
6.2	Interface Homme-Machine (IHM)	30
6.3	Système d'acquisition des données	33
6.4	En cas de coupure de l'alimentation en électricité	33
6.5	En cas de coupure de l'alimentation en air comprimé.....	33
6.5.1	Alarmes automatiques	34
7.	Etudes détaillées	34
7.1	Design mécanique	34
7.2	Outils divers	34
7.3	Contrôle commande, acquisition et Interface Homme Machine (IHM).....	34
7.4	Validation des études	34
8.	Fabrication.....	35
8.1	Matière première.....	35
8.2	Accessoires de levage.....	35
9.	Installation, mise en service, contrôles et essais	35
9.1	Généralités	35
9.2	Contrôles en usine.....	35
9.2.1	Contrôles dimensionnels	35
9.2.2	Essais de fonctionnement en usine.....	36
9.3	Installation et mise en service	36
10.	Formation.....	36
11.	Réception de l'Équipement.....	37
12.	Garantie	37
13.	Calendrier prévisionnel.....	37
14.	Suivi du marché.....	38
14.1	Correspondance	38
14.2	Rapport d'avancement	39
14.3	Réunions.....	39



14.3.1	Réunion d'enclenchement	39
14.3.2	Final Design Review (FDR)	39
14.3.3	Production Rediness Review (PRR).....	40
14.3.4	Réunions d'avancement	40
14.4	Inspection, visite et audit du site de fabrication	40
14.5	Sous-traitance.....	40
15.	Livrables documentaires.....	40
15.1	Livrables à remettre à la réunion d'enclenchement.....	41
15.2	Livrables liés aux études et à la fabrication.....	41
15.2.1	Plans	41
15.2.2	Schémas électriques	41
15.2.3	Notes de fonctionnement.....	41
15.2.4	Documents complémentaires pour la validation des études	41
15.2.5	Dossier de fabrication	41
15.2.6	Documents liés à la facturation	42
15.3	Dossier final	42
15.4	Format des livrables documentaires.....	43
16.	Assurance de la qualité et exigences environnementales	43
16.1	Plan d'assurance de la qualité.....	43
16.2	Gestion des non-conformités.....	44
16.3	Gestion des modifications	44
16.4	Exigences environnementales.....	44
17.	Confidentialité	45



1. Contexte du projet

1.1 Glossaire

- CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
- FDR : Final Design Review (revue du design détaillé)
- GANIL : Grand Accélérateur National d'Ions Lourds
- HP : Hold Point (point d'arrêt)
- IHM : Interface Homme Machine
- LDA : Liste des Documents Applicables
- LOFC : Liste des Opérations de Fabrication et de Contrôle
- MS : Milestone (jalón)
- PAQ : Plan d'Assurance Qualité
- PAQP : Plan d'Assurance Qualité Particulier
- PRR : Production Readiness Review (revue de lancement en production)
- R&D : Recherche et Développement
- SOLEIL : Source Optimisée de Lumière d'Energie Intermédiaire du LURE

1.2 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 (CEA) intervient dans quatre grands domaines : les énergies bas carbone (nucléaire et renouvelables), les technologies pour l'information et les technologies pour la santé, les Très Grandes Infrastructures de Recherche (TGIR), 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) du CEA. Ses activités scientifiques qui relèvent de l'astrophysique, de la physique nucléaire et de la physique des particules sont effectuées pour la majeure partie dans le cadre de programmes internationaux, d'institutions ou de laboratoires extérieurs en collaboration avec des laboratoires français et étrangers.

1.3 Présentation générale du projet

Projet porté par le CNRS et le CEA de Paris-Saclay, PACIFICS (Particle Accelerators Initiative for Future Innovative and Challenging Systems) vise à développer et consolider les infrastructures de R&D nécessaires au développement des accélérateurs de demain.

Pour se faire, il est nécessaire de moderniser les infrastructures technologiques françaises existantes de R&D sur les accélérateurs tout en améliorant, grâce à de nouveaux équipements de haute technologie mutualisés, la collaboration effective dans ce domaine entre les laboratoires du CEA et du CNRS. Le projet a la double ambition de maintenir les équipes scientifiques françaises à la pointe de l'innovation en matière de science et de technologie des accélérateurs, mais aussi de renforcer leur capacité à jouer un rôle de premier plan au niveau international dans le développement et la construction d'infrastructures de recherche à grande échelle basées sur les accélérateurs - en partenariat étroit avec les principaux acteurs industriels français du domaine - et pour le bénéfice direct des infrastructures françaises basées sur les accélérateurs comme GANIL et SOLEIL.

Dans le cadre de ce projet, le CEA/IRFU a en charge le renouvellement de la station d'imprégnation pour la rendre capable de traiter des bobines de grande taille et d'utiliser le cas échéant deux gros malaxeurs de résines, utilisés indépendamment pour des projets précédents.



2. Documents, normes et certifications applicables

2.1 Général

Les documents applicables à la prestation sont les suivants :

- Le présent cahier des charges ;
- L'annexe 1 : Plan pour installation dans le hall du bâtiment 122 (plan 40000_002_ENS_PACIFICS-07_Imprégnation_Implantation.pdf) ;
- L'ensemble des normes et standards mentionnés dans le paragraphe 2.2.

Sauf indication contraire et dans l'intégralité du document, les pressions mentionnées sont exprimées en absolu.

2.2 Normes et règles générales

Le Titulaire devra respecter tous les codes, normes, règles et directives listés ci-après. Il pourra proposer des normes équivalentes après justification. La liste n'est pas limitative et le Titulaire pourra proposer toutes les normes qui lui semblent applicables.

Les codes, normes, règles et directives doivent être utilisés dans leur dernière version applicable.

- NF EN ISO 9001 : « Système de management de la Qualité – Exigences » ;
- FD ISO 10005 : « Système de management de la qualité – lignes directrices pour les plans qualité » ;
- NF EN ISO 10204 : « Produits métalliques – Types de documents de contrôle » ;
- NF EN ISO 14001 : « Management environnemental » ;
- NF EN ISO 50001 : « Management de l'énergie » ;
- NF X08-100 : « Couleurs, Tuyauteries rigides – Identification des fluides par couleurs conventionnelles » ;
- Directive 2006/42/CE relative aux machines ;
- Arrêté du 22 Octobre 2009 fixant le contenu du dossier technique de fabrication exigé par l'article R. 4313-6 du code du travail pour les machines et les équipements de protection individuelle ;
- Arrêté du 22 Octobre 2009 relatif au marquage CE des machines et des équipements de protection individuelle ;
- Arrêté du 22 Octobre 2009 fixant le contenu de la déclaration CE de conformité relative aux machines au sens de l'article R. 4311-4 du code du travail ;
- Article du code du travail R. 4324.

2.3 Certification CE

L'Équipement devra être certifié CE. Le Titulaire est en charge de définir l'ensemble des normes applicables dans le but de pouvoir apposer la plaque de conformité CE. Il devra vérifier la conformité de l'incorporation des sous-ensembles définis comme des quasi machines, ainsi que la conformité des sous-ensembles certifiés CE, aux directives machines.

L'Équipement devra être conforme à minima aux normes définies au paragraphe 2.2.



3. Etendue de la prestation

3.1 Objet du marché

Le marché a pour objet l'étude détaillée et la fourniture (installation au CEA et formation comprises) d'une station d'imprégnation et des composants associés (logiciel d'interface homme-machine, armoires électriques de commande, pompe à vide, ...), ci-après nommée l'Equipement.

L'Equipement disposera d'une Interface Homme-Machine spécialement développée, permettant l'affichage et l'enregistrement des données liées aux cycles d'imprégnation.

Cet Equipement sera également mobile afin d'être déplacé d'un bâtiment à l'autre, à l'aide de moyens mécanisés (tire-palette, gerbeur, chariot élévateur, ...).

3.2 Prestations à la charge du Titulaire

3.2.1 Etudes détaillées

Le Titulaire a en charge les études détaillées de l'Equipement et des outillages associés, en incluant les ensembles mécaniques, le contrôle commande, le système d'acquisition et l'interface homme machine.

3.2.2 Approvisionnements

Le Titulaire a en charge tous les approvisionnements nécessaires à la fabrication, aux contrôles, à la livraison, à l'installation et aux essais de l'Equipement.

3.2.3 Réalisation

Le Titulaire a en charge toute la fabrication, les contrôles et essais en usine de l'Equipement. La livraison, l'installation, la mise en service et les contrôles et essais sur site au CEA Saclay de l'Equipement sont également à sa charge. La livraison d'une part et l'installation et mise en service d'autre part devront être chiffrées sur des lignes dédiées dans l'offre de prix.

3.3 Fournitures du CEA

Le CEA fournit au Titulaire :

- Le présent cahier des charges et ses annexes ;
- Concernant les « Malaxeurs » :
 - Le Mode d'emploi des malaxeurs,
 - Le schéma de câblage électrique des malaxeurs,
 - La documentation du radar VegaPuls 61,
 - La notice Plicscom Vega du radar VegaPuls,
 - La notice Digidrive SK Leroy somer du système de malaxage,
 - La notice MICRA-M_ditel,
 - La notice des afficheurs SYROS SY24 – SY48 – SY49 – SY96_ditel,
 - La notice de l'afficheur SYROS_49_ditel.
- Un plan de la dalle accueillant l'Equipement avec :
 - La position des trappes d'accès au sous-sol ;
 - La charge admissible au niveau des trappes d'accès au sous-sol ;
 - La position préférentielle des armoires électriques et de commande.

4. Description du processus

L'imprégnation est le procédé qui consiste à imprégner des rubans poreux (traditionnellement en fibre de verre) avec de la résine afin de créer un matériau composite, combinant une bonne isolation diélectrique (données par la résine) et une bonne rigidité mécanique (donnée par la fibre de verre emprisonnée dans la résine durcie).

Le bon fonctionnement d'un aimant supraconducteur (et plus généralement d'un matériel électrique) est généralement conditionné par la réussite de l'imprégnation, réussite obtenue par un remplissage de tous les espaces vides par de la résine (pas de bulle d'air donc !). C'est une phase critique du processus de fabrication.

L'injection de résine est réalisée depuis un réservoir d'injection. La résine traverse le moule d'imprégnation, étanche vis-à-vis de l'air environnant, puis un excédent ressort au niveau d'un réservoir de récupération.

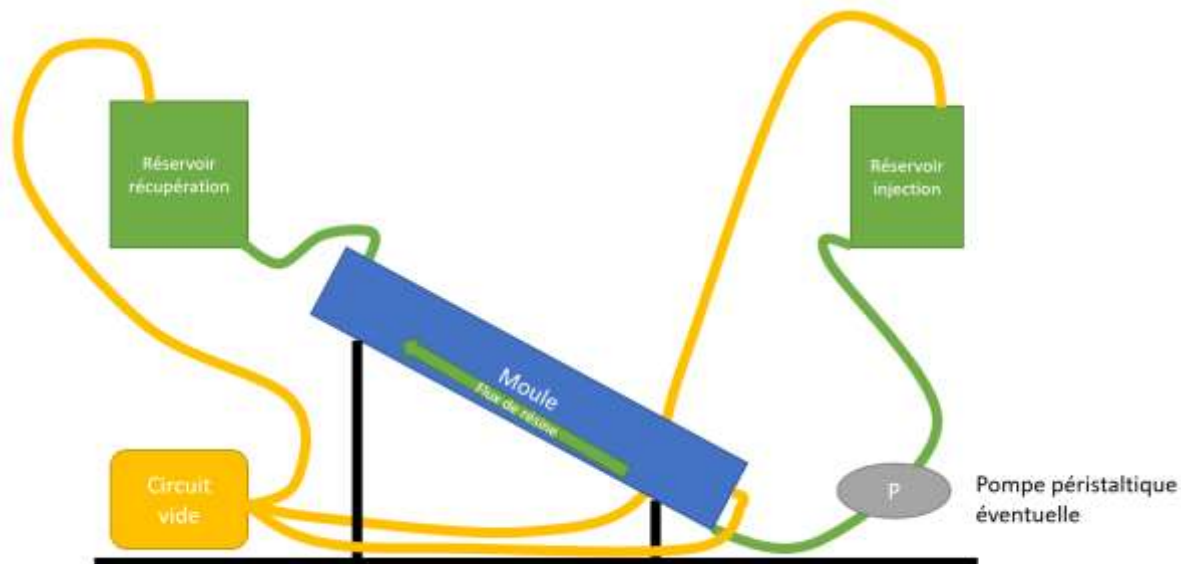


Figure 1 : Schéma type d'une imprégnation, en vert le circuit résine reliant le réservoir d'injection, le moule et le réservoir de récupération. Un circuit de vide est également utilisé pour améliorer la qualité de l'imprégnation.

Afin d'améliorer la qualité de l'imprégnation et de limiter la présence des bulles d'air, il est d'usage de tirer au vide les composants à imprégner pour les dégazer, enlever le plus d'air possible et laisser donc uniquement du « vide » à remplir de résine. Toujours pour maximiser la réussite de l'opération d'imprégnation, la résine est généralement dégazée préalablement à son injection et un gaz sec (azote) est utilisé pour « rincer » les éléments à imprégner après avoir été tirés au vide.

Il est également possible d'ajouter une légère surpression après l'injection de résine pour réduire la taille d'éventuelles bulles. Cette surpression est inférieure au seuil de 50 bars.litres (directive 2014/68/UE), évitant à l'installation d'être considérée comme Equipement Sous Pression.

Le débit de la résine à travers le moule d'imprégnation est assuré soit :

- Par capillarité ;
- Par une différence de pression entre le point d'injection et le point d'éjection ;
- Par injection (via une pompe péristaltique régulant le débit par exemple) ;
- Ou par une combinaison de tout ou partie des 3 phénomènes précédents à la fois.

Une fois la phase de remplissage de résine terminée et un éventuel temps de repos, le moule d'imprégnation est soumis au cycle thermique nécessaire à la polymérisation de la résine injectée (des exemples de résine sont notés au paragraphe 5.1.1).

4.1 Station d'imprégnation actuelle

Une station d'imprégnation est actuellement installée et opérationnelle au bâtiment 122.



Figure 2 : Station d'imprégnation actuellement installée au bâtiment 122



Cette station est composée de plusieurs sous-éléments :

- Une partie « résine » avec :
 - Deux réservoirs (un d'injection et un de récupération) ;
 - Une pompe péristaltique pour l'injection de la résine.
- Une partie « vide » avec :
 - Une pompe à vide ;
 - Deux manomètres à aiguille.
- Une partie « gaz »
 - Une bouteille d'azote technique – X50S, 200 bars à 15°C.
- Une partie chauffage avec :
 - Des alimentations électriques de puissance pour les résistances de chauffe ;
 - Un système d'acquisition des données pour la température : SEFRAM 140.



4.2 Exemple de cycle d'imprégnation

A titre indicatif, les différentes étapes d'un cycle d'imprégnation sont décrites ci-dessous :

- **Vérifications initiales :**
 - Mise en place du moule sur la station d'imprégnation ;
 - Connexion de la tuyauterie résine et vide ;
 - Tirage au vide du moule et de toute l'installation ;
 - Isolation des pompes à vide du circuit résine ;
 - Réalisation d'un test d'étanchéité par remontée de pression et/ou d'un test d'étanchéité par détection de gaz hélium ;
 - Réalisation d'un test de circulation à l'azote (absence d'obstruction dans le circuit résine, incluant le moule) et ce dans les deux sens (Entrée moule → Sortie moule et vice versa) ;
 - Remise en pompage au vide ;
 - Réalisation d'un nouveau test d'étanchéité avec le détecteur de fuite ;
 - Mise en place des éléments chauffants, des thermocouples et de l'isolation thermique.
- **Dégazage des circuits :**
 - Programmation d'un cycle de chauffe pour le moule et les réservoirs (exemple : montée à 110°C en 2 heures suivi par un palier de 3 heures puis une descente libre à 60°C, température maintenue constante à 60°C par la suite) ;
 - Tirage au vide de l'ensemble de l'installation durant le cycle de chauffage ;
 - Réalisation d'un nouveau test d'étanchéité par remontée de pression et/ou d'un test d'étanchéité par détection de gaz hélium ;
 - Réalisation d'un nouveau test de circulation à l'azote ;
 - Remise en pompage au vide.
- **Préparation de la résine :**
 - Préparation des différents composants la veille de l'injection (pesage, préchauffage, ...)
 - Le jour de l'injection, mélange et malaxage des composants de la résine, mise en place de la résine dans le réservoir d'injection et dégazage de cette dernière ;
- **Imprégnation :**
 - Isolation des pompes à vide du circuit de résine ;
 - Remontée graduelle de la pression dans les réservoirs pour atteindre une pression d'environ 650 mbar dans chacun d'eux ;
 - Remontée de la pression dans le réservoir d'injection à 700 mbar ;
 - Injection de la résine dans le moule avec la pompe péristaltique ;
 - L'injection se poursuit jusqu'à ce que la résine traverse entièrement le moule puis remplit partiellement le réservoir de récupération ;
 - Inversion temporairement du sens de rotation de la pompe péristaltique pour faire circuler la résine dans les deux sens ;
 - Réalisation de « respirations » (remontée de pression à environ 1000 mbar avec de l'azote puis nouveau pompage au vide à environ 500 mbar) ou respect d'un temps de repos ;
 - Si toutes les bulles sont sorties, démarrage du cycle de polymérisation de la résine.
- **Démontage et nettoyage :**
 - Une fois la résine polymérisée, démontage des tuyaux, nettoyage des vannes, déconnexion des thermocouples et circuits de chauffe ;
 - Sortie du moule de la zone d'imprégnation ;
 - Une fois l'installation nettoyée et remontée, réalisation des tests d'étanchéité et de tirage au vide afin qu'elle soit de nouveau qualifiée comme étant opérationnelle.

4.3 Modes de fonctionnement de l'Équipement et synoptiques d'illustration

L'Équipement doit pouvoir fonctionner dans deux configurations différentes :

- Une première configuration, appelée « **Réservoirs** », met en œuvre les réservoirs intégrés à l'Équipement. Elle est identique à la configuration actuelle de la station d'imprégnation existante au bâtiment 122. Elle est illustrée en Figure 3 ;

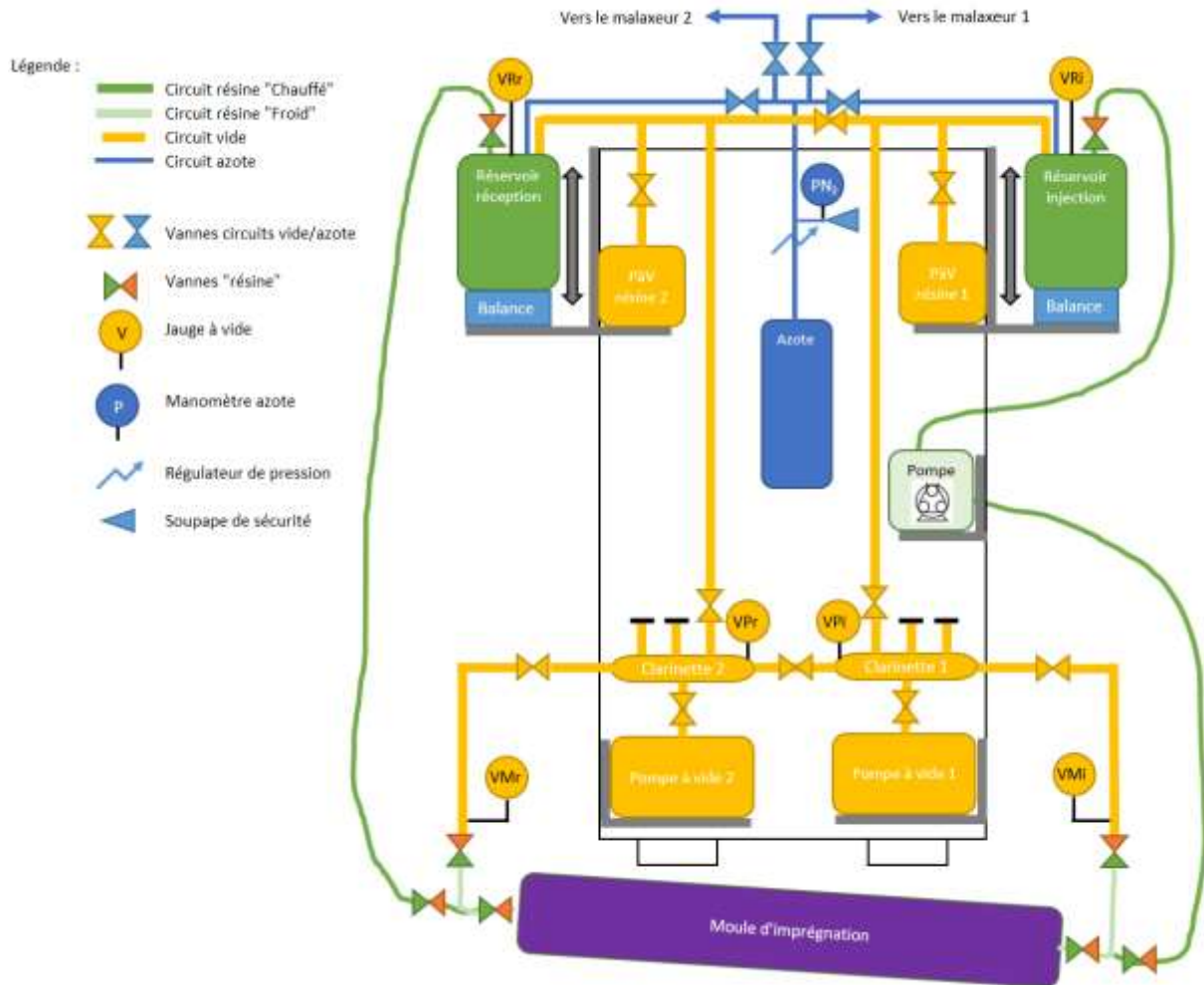


Figure 3 : Synoptique de la station d'imprégnation en configuration "Réservoirs", pour illustration uniquement

- Une seconde configuration, appelée « **Malaxeurs** », met en œuvre des malaxeurs externes à l'Équipement qui jouent le rôle des réservoirs d'injection et de réception. L'Équipement devra donc pouvoir mettre en œuvre ces malaxeurs et récupérer les données issues de ces derniers. Cette configuration est illustrée en Figure 4.

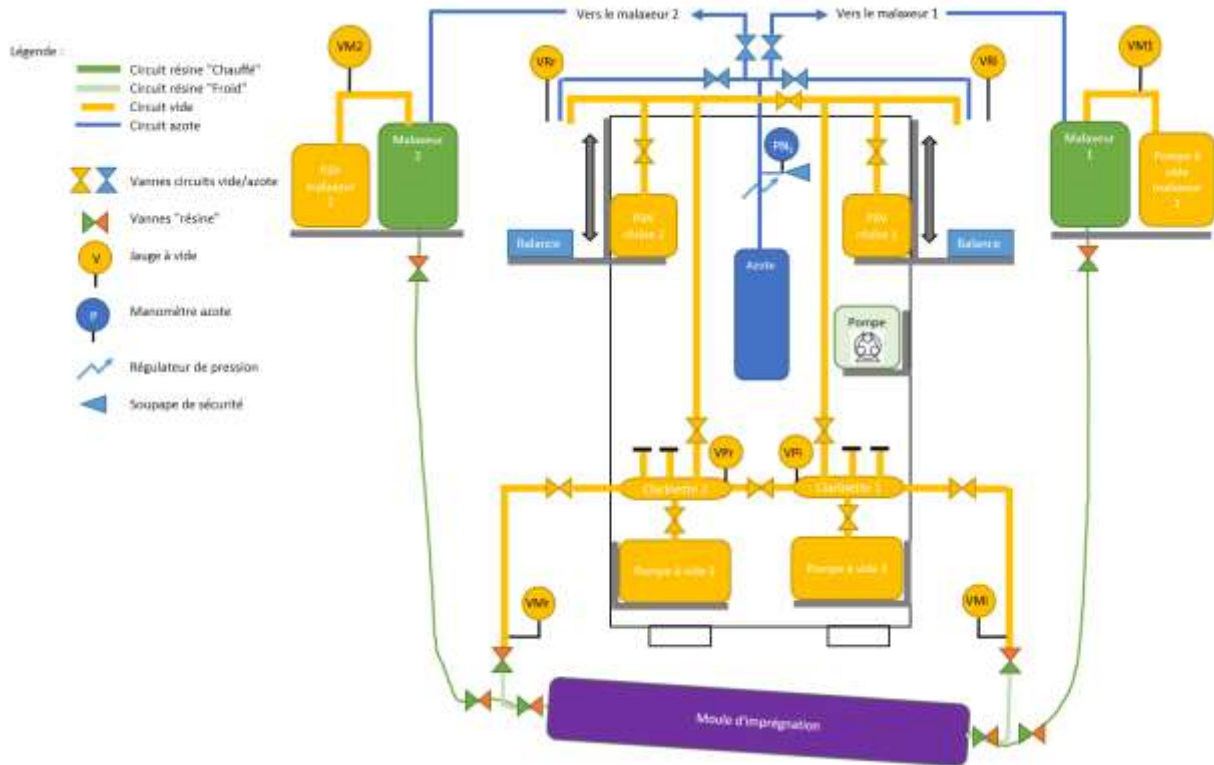


Figure 4 : Synoptique de la station d'imprégnation en configuration "Malaxeurs", pour illustration uniquement

Dans cette configuration, les pompes à vide (PàV malaxeur 1 et PàV malaxeur 2) ainsi que les jauges à vide (VM1 et VM2) des malaxeurs seront de fourniture CEA et ne font donc pas partie de l'Équipement. Le système de contrôle commande ainsi que l'interface homme machine doivent cependant permettre l'intégration des signaux des jauges à vide VM1 et VM2 (entrée/sortie de données).



5. Caractéristiques techniques des composants

5.1 Partie résine

5.1.1 Résines mises en œuvre

L'Équipement devra permettre la mise en œuvre a minima, de résines et cires ayant les caractéristiques physiques ci-dessous :

- Température d'emploi :
 - De 40 à 60°C pour les résines ;
 - De 40 à 100°C pour les cires.
- Viscosité :
 - Inférieure à 400 Cp à 40°C ;
 - Inférieure ou égale à 100 Cp à 60°C.
- Cycles de polymérisation, liés à chaque résine, exemples donnés ci-dessous à titre indicatif :
 - 24h à 80°C puis 1,5h à 135°C ;
 - 5h à 110°C puis 16h à 125°C ;
 - 24h à 105°C puis 20h à 145°C.

Exemples de résines, cires et paraffines pouvant être mis en œuvre par l'Équipement :

- Composite Technology Development
 - CTD 101-K
 - <https://www.ctd-materials.com/wp-content/uploads/2014/05/CTD-101K-DS-2014.pdf>
- Huntsmann :
 - CY 192-1 + HY 918 ;
 - GY 282 + HY 918 + DY073-1 ;
 - MY 750 (Resin) + HY 5922 (Hardener) ;
 - <https://www.huntsman.com/docs/Documents/US-Electrical-Engineering-Selector-Guide.pdf>
- Cire et paraffine : De type wax POLARIT® G54-56 de chez [Th.C.TROMM GmbH](#).

Il n'est pas prévu de mettre en œuvre des résines fortement exothermiques et présentant un risque d'emballement thermique de la réaction de polymérisation.

5.1.2 Réservoirs d'injection et de réception (configuration « réservoirs »)

Lorsque l'Équipement fonctionne avec les réservoirs décrits dans ce paragraphe, le mode de fonctionnement est appelé « Réservoirs ».

Ces réservoirs doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- Volume maximal : 10 litres de résine ;
- Taux de fuite des réservoirs vides de résine : Inférieur à 1.10^{-4} mbar.l/s ;
- Être équipés de dispositif de chauffe et de maintien en température dont les caractéristiques sont indiquées dans le paragraphe 5.4) ;
- La pression et le niveau de vide à l'intérieur du réservoir doivent pouvoir être ajustés individuellement pour chaque réservoir ;
- Être équipés de dispositifs de dégazage en couche mince (illustration en Figure 5) avec les caractéristiques suivantes :
 - Longueur de dégazage minimale : 205 mm,
 - Largeur de dégazage minimale : 190 mm,
 - Distance entre l'extrémité inférieure de la lame de dégazage et le fond du réservoir : Inférieure à 5 mm,
 - Facilité de démontage pour être nettoyés.

- Être ajustables en hauteur afin que la distance entre le fond des réservoirs et le sol soit réglable entre [0,5 et 2 m].



Figure 5 : Photographie d'un dispositif de dégazage en couche mince existant au CEA. La lame de dégazage est le plan incliné.

5.1.3 Tuyaux

Dans le but de maintenir le coût des consommables à un niveau le plus faible possible, le circuit de résine peut être composé de deux types de tuyaux en contact avec la résine :

- Des tuyaux en polyamide semi-rigides, en dehors de la pompe péristaltique ;
- Des tuyaux souples, au niveau de la pompe péristaltique et des pinces à vide.

Ces tuyaux devront avoir les caractéristiques suivantes :

- Être compatibles avec les résines décrites au paragraphe 5.1.1 ;
- Être transparents ou translucides afin de constater visuellement l'avancée du front de résine dans les tuyaux ainsi que la présence d'éventuelles bulles ;
- Avoir un diamètre intérieur minimal de 8 mm ;
- Résister à une pression de fonctionnement comprise entre le minimum P_{abs_vide} (paragraphe 5.2.1) et un maximum de 2 bars absolu (ils ne doivent pas collapser sous vide, quelle que soit la température jusqu'à un maximum de 60°C) ;
- Être compatibles avec une pompe péristaltique telle que décrite dans le paragraphe 5.1.4 ; pour les tuyaux souples uniquement ;
- Les raccords entre tuyaux ou entre tuyaux et points de connexions sont à réaliser avec des raccords annelés et des colliers de serrage adaptés.



Figure 6 : Tuyaux en polyamide semi-rigide translucide, pour illustration uniquement



Figure 7 : Tuyaux souples potentiels, Versilon translucide à gauche, Tygon transparent à droite, pour illustration uniquement

5.1.4 Pompe péristaltique

La pompe péristaltique qui sera en charge d'injecter la résine doit se conformer avec les requis décrits ci-dessous :

- Compatibilité avec les tuyaux décrits au paragraphe 5.1.3 ;
- Vitesse de rotation minimale permettant un débit égal ou inférieur à 0,3 l/h avec les tuyaux décrits dans le paragraphe dédié ;
- Vitesse de rotation maximale permettant un débit égal ou supérieur à 10 l/h avec les tuyaux décrits dans le paragraphe dédié ;
- Fonctionner dans les deux sens de rotation (injection dans le moule mais aussi aspiration dans le moule).

5.1.5 Vannes sur le circuit de résine

Afin de faciliter les opérations de nettoyage, toutes les vannes sur le circuit de résine devront être de type « [Béné INOX Vanne à boule, 3 pièces, ¼ de tour](#) » ; des équivalents chez d'autres fabricants sont acceptées.

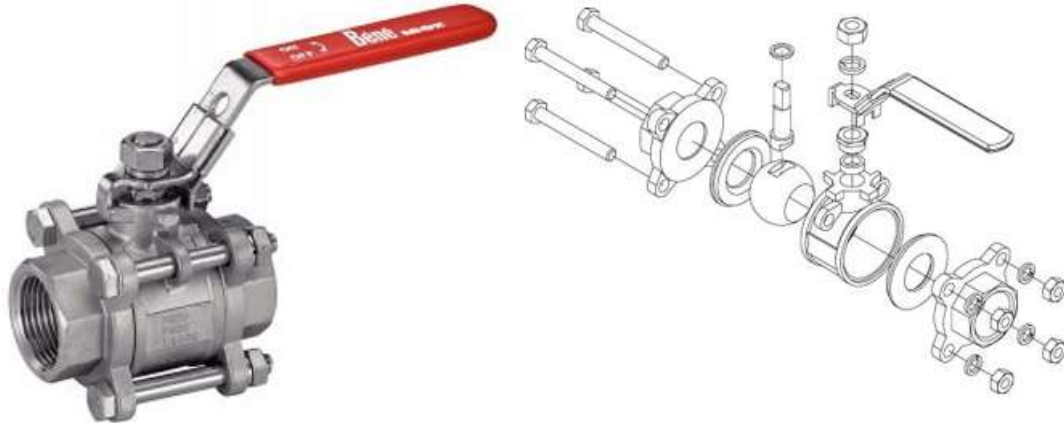


Figure 8 : Illustration d'une vanne 3 pièces ¼ de tour entièrement démontable pour faciliter son nettoyage

5.1.6 Malaxeurs (configuration « Malaxeurs »)

L'Equipement devra également pouvoir être mis en œuvre avec deux gros malaxeurs, remplaçant les réservoirs d'injection et de réception dans le cas d'imprégnation de bobines de grande taille.

Cette configuration est nommée « Malaxeurs ».



Figure 9 : Photographies des deux malaxeurs équipés de leur passerelle

Ces malaxeurs intègrent plusieurs fonctions et équipements :

- Une cuve chauffante ;

- Un système d'agitation de la cuve ;
- Une mesure de niveau de cuve ;
- Une ouverture du couvercle pneumatique ;
- Aucune pompe péristaltique n'est nécessaire pour assurer le transfert de la résine ;
- ...

Ils ont été remis à niveau en 2011 avec une réfection complète de l'armoire électrique aussi les schémas électriques et les notices des appareils installés à l'époque sont disponibles :

- Mode d'emploi ;
- Schéma de câblage ;
- Documentation radar VegaPuls61 ;
- Notice Plicsom_vega ;
- Notice Digidrive SK_Leroy-somer ;
- Notice Micra-M_ditel ;
- Notice SYROS ;
- Notice SYROS 49 Ditel.

Ils ne sont aujourd'hui plus équipés de leur passerelle, l'accès en partie haute est à prévoir avec une Plateforme Individuelle Roulante Légère (PIRL) fournie par le CEA.

Afin de limiter les risques d'endommagement lors du transport, les appareils électriques et électroniques ont été démontés et livrés à part. Aussi, il est nécessaire d'inclure à l'offre de prix les prestations suivantes liées à ces malaxeurs :

- Remise en place (installation, câblage, vérification du bon fonctionnement, ...) de ces appareils dans leurs armoires électriques ;
- Câblage de ces appareils ;
- Vérification du bon fonctionnement ;
- Le mode de fonctionnement devra être le même que celui décrit dans le mode d'emploi.



Figure 10 : Les composants démontés des armoires électriques sont disponibles au CEA

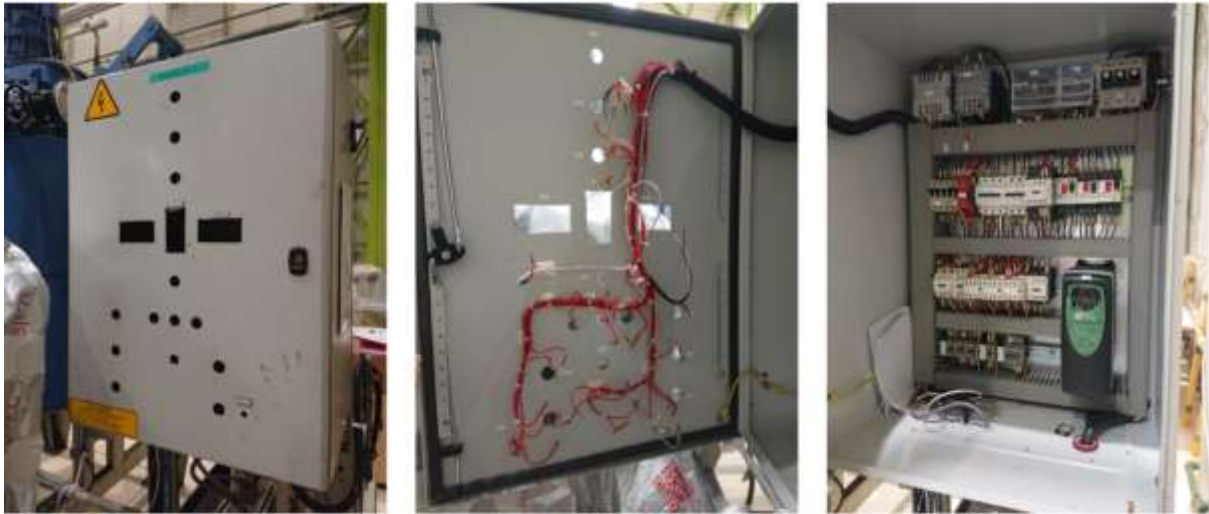


Figure 11 : Vue des armoires électriques des malaxeurs dans leur état actuel

La commande pneumatique d'ouverture du couvercle est manquante sur chacun des deux malaxeurs ainsi que toute la tuyauterie de raccordement en air comprimé. Aussi il est nécessaire d'inclure à l'offre de prix les prestations suivantes :

- Installation d'une commande pneumatique d'ouverture / fermeture de chaque couvercle (une commande par malaxeur) ;
- Installation de la tuyauterie de raccordement en air comprimé sur chacun des deux malaxeurs ;
- Ce circuit pourra être réalisé en tuyaux souples type pneumatique, d'une couleur différente à celui de la tuyauterie liée au circuit d'azote ;
- Le mode de fonctionnement devra être le même que celui décrit dans le mode d'emploi.



Figure 12 : Photographie de la commande pneumatique d'ouverture - fermeture des couvercles

Deux circuits de refroidissement à l'eau équipent déjà les malaxeurs :

- Pour le moteur de malaxage afin d'isoler thermiquement ce dernier de la cuve chauffante ;
- Pour le condenseur du circuit vide afin de créer une zone de piégeage des gaz aspirés par la pompe à vide du malaxeur.

L'alimentation électrique pour chaque malaxeur est donnée pour 3 x 400 V, 63 A.



5.1.7 Données liées à la partie « Résine »

Les données qui seront à enregistrer et afficher pour la partie « Résine » sont les suivantes :

- Réservoirs d'injection et de réception, pour chacun d'entre eux :
 - Pression absolue (niveau de vide) ;
 - Température (consigne) ;
 - Température (réelle) ;
 - Masse de résine dans le réservoir.
- Tuyau(x) du circuit de la résine :
 - Débit de résine à l'injection et à la réception, par mesure directe ou indirecte (variation du poids du réservoir par exemple) ;
 - Température des tuyaux du circuit de résine, a minima :
 - Température en sortie de réservoir ;
 - Température en entrée de moule ;
 - Température en sortie de moule.
- Pompe péristaltique :
 - Sens de rotation ;
 - Vitesse de rotation.
- Malaxeurs, pour chacun des malaxeurs :
 - Pression absolue (niveau de vide) ;
 - Température (consigne) ;
 - Température (réelle) ;
 - Niveau de résine ;
 - Vitesse de rotation de l'agitateur ;
 - Débit d'eau pour chacun des deux circuits de refroidissement.

5.2 Partie vide

5.2.1 Performances attendues

Le circuit de vide doit à minima égaler les performances suivantes :

- Atteindre, sans moule d'imprégnation, une pression absolue (P_{abs_vide}) inférieure ou égale à 1.10^{-3} mbar (0,1 Pa) au niveau des connexions avec le moule d'imprégnation (jauges VMi et VMr sur la Figure 3 et la Figure 4) en moins de 2 heures ;
- Obtenir un taux de fuite du circuit vide, avant raccordement au moule d'imprégnation et avec une pression de 1.10^{-2} mbar :
 - Inférieur à 1.10^{-3} mbar.l/s par la méthode de remontée de pression ;
 - Inférieur à 1.10^{-8} mbar.l/s par la méthode de détection gaz hélium.

Le circuit de vide doit également :

- Utiliser de tuyaux lisses en acier inox 1.4307 (304L) ;
- Des tuyaux flexibles sur bride KF sont autorisés pour les liaisons nécessitant du mouvement ;
- Les éventuels raccords, piquages et dispositifs liés au vide, seront équipés de brides KF ;
- Les raccords entre éléments « vides » seront assurés par :
 - Des bagues de centrage avec joint intérieur KF ;
 - Des colliers de serrage standard KF.



Figure 13 : Illustration des bagues de centrage et colliers de serrage KF

- Les raccords entre le circuit de vide et le circuit de résine seront assurés par des embouts crantés KF.



Figure 14 : Illustration d'un embout cranté KF

5.2.2 Jauges à vide

L'Équipement devra être fourni avec les jauges à vide nécessaires à son bon fonctionnement :

- La pression absolue affichée doit être continue sur l'ensemble de la plage de mesure, à minima depuis la pression atmosphérique jusqu'à P_{abs_vide} ;
- Une attention sera portée à l'emploi de jauges à vide protégées contre la création d'arc électrique dans les conditions du minimum de Paschen ;
- Un minimum de 10 jauges à vide doit être fourni lors de la réception de l'équipement.

5.2.3 Pompes à vide

Compte tenu des différences de performances entre les circuits « vide » et les circuits « résine » mais également pour protéger les résines de vapeurs d'huile des pompes à vides et de protéger les pompes à vides des vapeurs de résines, l'Équipement peut, si besoin, mettre en œuvre deux types de pompes à vide, chaque type ayant en charge un circuit particulier.

- Les pompes à vide pour le circuit « résine », doivent :
 - Permettre d'atteindre le niveau de vide $P_{abs_résine}$ inférieure ou égale à 3 mbar au niveau des réservoirs (jauges VRr et VRi sur la Figure 3) en moins de 30 minutes ;
 - Fonctionner sans lubrification au niveau du circuit de vide (pompes sèches, à membrane par exemple) ;
 - Fonctionner malgré la présence de potentielles vapeurs de résine à l'aspiration de la pompe ;
 - Être équipées d'un dispositif de filtration au niveau de leur échappement ;
 - Pouvoir raccorder l'échappement de la pompe à vide (après le filtre), à un dispositif d'aspiration dans le bâtiment (à la charge du CEA).
- Les pompes à vide pour le circuit « vide », doivent :
 - Permettre d'atteindre le niveau de vide P_{abs_vide} tel que spécifié au paragraphe 5.2.1 ;
 - Fonctionner sans lubrification au niveau du circuit de vide (pompes sèches, à membrane par exemple) ;
 - Être équipées d'une vanne d'isolement automatique permettant de protéger le circuit vide de toute rétrodiffusion d'huile ;
 - Être équipées d'un dispositif de filtration au niveau de leur échappement ;
 - Pouvoir raccorder l'échappement de la pompe à vide (après le filtre), à un dispositif d'aspiration dans le bâtiment (à la charge du CEA).

Pour des raisons de redondance et pour chaque type, l'emploi de deux pompes à vides identiques, est demandé :

- Elles fonctionneront en temps normal de manière indépendante, chacune gérant soit le circuit d'injection, soit le circuit d'extraction ;
- En cas de panne de l'une d'elles, un dispositif doit permettre au seul système de pompage au vide fonctionnel de tirer au vide dans le circuit lié au système de pompage défaillant tout en permettant l'atteinte des critères de performances décrits au paragraphe 5.2.1.

5.2.4 « Clarinettes »

Afin de distribuer le vide aux différents endroits, les pompes à vides seront raccordées chacune à une « clarinette » proposant à minima :

- Une sortie vers le moule d'imprégnation ;
- Une sortie vers l'un des réservoirs ;
- Une sortie vers l'autre clarinette pour pouvoir lier les deux circuits en cas de défaillance d'une pompe à vide ;
- Une sortie pour connecter une jauge à vide ;
- Deux sorties supplémentaires de réserve, obturées par des bouchons à bride KF muni de leur joint.



Figure 15 : Illustration d'une clarinette avec plusieurs sorties

5.2.5 Vannes « vide »

Une homogénéisation des vannes « vide » est préférée. Cependant, si une seule référence de vanne « vide » ne permet pas de satisfaire les critères de tenue au vide (paragraphe 5.2.1) et de démontage (paragraphe 5.1.5) alors :

- A l'exception des vannes réalisant la jonction entre les circuits résine et les circuits vide, toutes les vannes installées sur le circuit de vide doivent être compatibles avec les performances attendues du circuit vide, décrites au paragraphe 5.2.1 ;
- Les vannes réalisant la jonction entre les circuits résine et les circuits vide devront être similaires aux vannes indiquées au paragraphe 5.1.5.



5.2.6 Données liées à la partie « vide »

Les données qui seront à enregistrer et afficher pour la partie « Vide » sont les suivantes :

- Pression absolue (niveau de vide) en différents points du circuit ;
- L'Équipement devra être dimensionné pour collecter les données provenant d'un minimum de 16 jauges à vide.

5.3 Partie gaz

5.3.1 Gaz utilisé

Les composants du circuit gaz devront être compatible avec l'utilisation de gaz azote technique, conditionné en bouteille X50S, 200 bars à 15 °C.

5.3.2 Circuit gaz et définition de la pression

Le circuit de gaz devra :

- Relier la bouteille source aux réservoirs ;
- Relier la bouteille source aux malaxeurs ;
- Injecter de l'azote :
 - à une pression définie à l'avance sur l'IHM ;
 - à une pression comprise entre 100 et 1200 mbar absolu ;
- Réguler automatiquement la pression de consigne avec une précision de +/- 5 %.
- Disposer d'une soupape de sûreté en aval de la boucle de régulation de pression d'azote dont le tarage permet à l'Équipement de ne pas être considéré comme un appareil sous pression ;
- Ce circuit pourra être réalisé en tuyaux souples type pneumatique, d'une couleur différente de celle utilisée pour les tuyaux d'air comprimé ;
- Le circuit devra être constitué d'éléments facilitant sa modularité ;
- Les vannes seront de type « ¼ de tour » ;
- Les échappements éventuels à l'atmosphère du circuit gaz (hors soupape de sécurité) seront équipés de silencieux métalliques (bronze par exemple).

5.3.3 Données liées à la partie « gaz »

Les données qui seront à enregistrer et afficher pour la partie « gaz » sont les suivantes :

- Consigne de la valeur de pression ;
- Pression mesurée dans le circuit « gaz » à la sortie du détendeur.

5.4 Partie chauffage

5.4.1 Généralités

Tous les thermocouples doivent satisfaire à minima aux critères suivants :

- Résolution : 0,5°C ;
- La gaine de chaque thermocouple doit être raccordée à la masse ;
- Chaque voie de mesure de la température doit être conditionnée par un isolement galvanique.

Tous les thermocouples **de régulation** ainsi que l'ensemble de leur chaîne d'acquisition doivent :

- Être étalonnés en trois points :
 - 50°C,



- 100°C,
- 200°C.
- Les corrections éventuelles doivent pouvoir être insérées dans l'interface Homme-Machine afin d'être prises en compte automatiquement ;
- Certifier une précision absolue de : +/- 1°C ;
- Les thermocouples étalonnés devront être fournis avec un certificat COFRAC ou équivalent.

Tous les circuits de chauffage doivent être équipés d'un système de sécurité qui coupe la puissance de chauffage lorsque la température de sécurité est dépassée.

La température de sécurité doit être réglable et personnalisable pour chaque circuit.

5.4.2 Chauffage des réservoirs

Chaque réservoir de résine de l'Équipement doit être équipé d'une boucle de régulation indépendante et gérée par le système de régulation de l'Équipement, permettant :

- Une régulation en température pour maintenir la résine entre la température ambiante et 100°C ;
- Une régulation de température efficace quelle que soit la quantité de résine dans le réservoir ;
- Un écart entre la température de consigne et la température du bain de résine inférieur à +/- 5°C. En cas de température ambiante supérieure à 20°C, un refroidissement n'est pas nécessaire.

5.4.3 Chauffage de la tuyauterie

Les tuyaux du circuit résine devront être équipés de systèmes permettant :

- Une régulation en température pour maintenir la résine dans les tuyaux entre 40°C et 100°C (indépendamment de la compatibilité des tuyaux avec cette gamme de température) ;
- L'écart entre la température de consigne et la température du bain de résine doit être inférieur à +/- 5°C ;
- En cas de température ambiante supérieure à 20°C, un refroidissement n'est pas nécessaire.
- Cette régulation de température doit être automatique ;
- Chaque portion du circuit doit disposer d'une boucle de régulation indépendante.

Ces systèmes devront permettre une mise en place et un retrait aisé (fixation par velcros par exemple) pour disposer rapidement d'un visuel sur les tuyaux (et donc sur la résine lorsque celle-ci sera dans les tuyaux).

Ces systèmes peuvent tout à fait être des matelas chauffants isolants, amovibles, afin de permettre le changement aisé des tuyaux de résine (qui sont à utilisation unique). Quelques fournisseurs potentiels (liste non exhaustive) :

- <https://www.sa-elit.net/solutions-souple-pour-isolation-industrielle/>
- <https://www.sodex-industrie.com/nos-produits/matelas-chauffants/>

5.4.4 Chauffage du moule

Compte tenu de la grande variabilité des moules à imprégner, l'Équipement devra proposer un système de chauffage modulaire composé d'au minima 12 circuits de chauffe, indépendants les uns des autres et ayant chacun les caractéristiques suivantes :

- Puissance unitaire maximale de 3,5 kW ;
- 2 circuits seront en 220 V et seront clairement identifiés comme tel à la fois sur l'armoire électrique et dans l'IHM ;
- Les autres circuits seront en 380 V et seront clairement identifiés comme tel, à la fois sur l'armoire électrique et dans l'IHM ;
- Boucle de régulation propre à chaque circuit, chaque circuit étant piloté par son propre thermocouple de régulation ;
- Pour garantir la compatibilité avec les éléments de chauffage actuels, les connecteurs des circuits de chauffe seront :
 - De type [WEIPU SF20](#), 3 contacts ($\varnothing 2,5$ mm), 25 ampères, 500 V,
 - Femelle côté armoire électrique,
 - Mâle côté résistance chauffante.



Figure 16 : Photographies des connecteurs des résistances chauffantes existantes

En cas de température ambiante supérieure à 20°C, un refroidissement n'est pas nécessaire.

5.4.5 Cycles thermiques et système de régulation de l'Équipement

Le système de contrôle et de régulation de la température de l'Équipement doit comporter :

- Un système de pilotage et de régulation de la température, permettant :
 - De créer des cycles de polymérisation comprenant au moins 30 étapes (rampes de chauffage, palier de stabilisation, rampe de refroidissement) ;
 - En incluant les étapes de chauffage des réservoirs ;
 - Les variables entrant dans la programmation des étapes de chauffage sont les suivantes :
 - Température initiale de l'étape, en °C ;
 - Température finale de l'étape, en °C ;
 - Durée de l'étape, en minutes.



- De programmer individuellement chaque circuit de chauffage (afin d'introduire des cycles de chauffage décalées d'un circuit à l'autre par exemple, en chauffant d'abord le fond du moule puis les côtés en enfin de haut) ;
- De programmer collectivement plusieurs circuits de chauffage, (cycle strictement identique pour 5 à 6 circuits par exemple).
- De s'adapter à différentes tailles de moules d'imprégnation, par un autoapprentissage de régulateur PID par exemple, lors d'un cycle « à blanc »,
- D'activer ou de désactiver facilement l'utilisation d'un ou plusieurs thermocouples de régulation (en cas de dysfonctionnement de ces derniers),
- D'autoriser des modifications du cycle d'imprégnation « à la volée », en cours d'imprégnation et sans entraîner de pertes d'information ou de redémarrage. Le but étant par exemple de modifier la durée d'un plateau de stabilisation en cours d'exécution.
- Des thermocouples de régulation :
 - En lien avec les circuits de chauffe et en nombre suffisant pour gérer le bon déroulement de l'intégralité de l'imprégnation (atteinte et garantie de l'homogénéité et de la stabilité en température), avec un minimum de 1 thermocouple par circuit.
- Des thermocouples de suivi :
 - L'Equipement devra être dimensionné pour un maximum de 40 thermocouples de suivi, néanmoins, seuls 12 de ces thermocouples doivent être livrés avec l'Equipement.
 - Tous les thermocouples doivent pouvoir être fixés indépendamment soit sur le moule d'imprégnation, soit au niveau des entrées et sorties de résine des moules d'imprégnation,
 - Ils doivent être facilement interchangeables en cas de dysfonctionnement,
 - Ils doivent être « standards », commercialement disponibles « sur étagère »,
 - Leur diamètre doit être de 2 mm,
 - Leur gaine doit être en acier inoxydable,
 - Ces thermocouples servent uniquement à enregistrer la température et ne pilotent en aucun cas le système de régulation thermique de l'Equipement.
- Un dispositif indiquant l'état du dispositif de chauffage :
 - Circuit(s) branché (s) ou non,
 - Circuits (s) fonctionnel(s) ou cassé (s),
 - Cette vérification peut se faire par une mesure de la résistance du dispositif de chauffage par exemple.

5.4.6 Données liées à la partie « Chauffage »

Les données qui seront à enregistrer et afficher pour la partie « chauffage » sont les suivantes :

- Pour la tuyauterie :
 - Température (consigne) pour chaque élément chauffant ;
 - Température (réelle) pour chaque élément chauffant.
- Pour le chauffage du moule :
 - Température (consigne) pour chaque circuit de chauffe ;
 - Température (réelle) pour chaque circuit de chauffe (thermocouple de régulation) ;
- Pour le moule :
 - Température (réelle), donnée par les thermocouples de suivi.

5.5 Environnement

L'Equipement devra être compatible pour une installation et un fonctionnement dans l'environnement suivant :

- Lieu d'installation : CEA Saclay, bâtiment 122, hall principal ;
- Température : 22 +/- 10°C ;
- Humidité : 20 à 80 % ;



- Electricité disponible :
 - 400 V triphasé, régime de neutre TNS,
 - 220 V monophasé.
- Air comprimé disponible : réseau à la pression de 7 bars ;
- Pont roulant disponible : CMU 20 t, hauteur sous crochet : 6,5 m ;
- Dimension de la porte d'entrée dans le hall principal du bâtiment 122 :
 - Porte Est : largeur 4 m et hauteur 4,4 m.
- Fixation au sol :
 - La dalle sur laquelle sera installé l'Équipement a une capacité de charge de 5 t/m². Cependant, elle dispose de trappes d'accès au sous-sol d'une capacité de charge unitaire limitée à 500 kg, la conception des appuis au sol de l'équipement doit donc en tenir compte,
 - La position de ces trappes ainsi que la surface au sol allouée pour l'Équipement sont données dans le plan *40000_002_ENS_PACIFICS-07_Imprégnation_Implantation*,
 - Une marge de sécurité de 150 mm dans les deux directions (X/Y) doit être prise vis-à-vis de la position de ces trappes,
 - Tout ancrage au sol doit se faire par le biais de douilles femelles (fixées chimiquement ou par expansion) afin de laisser le sol vierge d'élément dépassant de ce dernier en cas de démontage de l'Équipement.
- Installation des armoires électriques (déplaçables) :
 - Elles doivent être installées préférentiellement près du mur Sud du bâtiment (se référer au plan *40000_002_ENS_PACIFICS-07_Imprégnation_Implantation*).
- Aspects concernant la mobilité de l'Équipement :
 - L'Équipement doit pouvoir être déplacé dans d'autres bâtiments afin de réaliser des imprégnations en dehors du bâtiment 122. Les conditions environnementales de ces autres bâtiments sont similaires à celles du bâtiment 122 ;
 - Pour réaliser ces déplacements, l'Équipement peut être séparé en plusieurs éléments. Chacun de ces éléments doit pouvoir être déplaçable par des moyens mécaniques de type tire-palette, gerbeur, chariot élévateur et pont roulant ;
 - Les opérations de démontage et remontage de l'équipement dans le cadre d'une mobilité, hors temps de transport, doivent pouvoir être réalisées par une équipe de 2 techniciens en 2 semaines (8h / jour, 5 jours / semaine).

Dans leurs réponses techniques, les Soumissionnaires devront indiquer :

- Les dimensions hors tout et la masse, estimées, de l'équipement complet (châssis de la station, armoires électriques, pompes à vide, ...)
- La puissance électrique maximale, estimée, nécessaire au fonctionnement de l'Équipement ;
- Le débit maximum d'air comprimé, estimé, nécessaire au fonctionnement de l'Équipement.

5.6 Standardisation

Dans le but de permettre la maintenance de la station d'imprégnation par les équipes du CEA, les composants standard du commerce devront se rapprocher autant que possible des définitions suivantes :

- Composants électroniques et automates : de marque Siemens ou de qualité équivalente ;
- Structures mécaniques : basées sur des profilés normalisés de marque NORCAN ou de qualité équivalente ;
- Composants pneumatiques : de marque FESTO ou SOPRA ou de qualité équivalente ;
- Composants liés à la régulation du gaz azote, débitmètres (mass flow controller & meter) : De marque BROOKS, série SLA 5800 ou de qualité équivalente.
- Composants liés au vide :
 - Pour les pompes primaires, de marque Edwards issues de la gamme multiroots nXRi ou de qualité équivalente ;



- Pour les pompes turbo-moléculaire (le cas échéant), de marque Edwards issues de la gamme nEXT ou de qualité équivalente ;
- Pour les jauges à vide :
 - Capacitives : de marque INFICON, MKS Baratron ou de qualité équivalente ;
 - Pirani : de marque Pfeiffer TPR 018 ou de qualité équivalente,
 - Penning : de marque Pfeiffer IKR 60 ou Pfeiffer KT70 ou de qualité équivalente,
 - Conditionneur : de marque Pfeiffer TPG500 ou de qualité équivalente.
- Pour les accessoires liés au vide :
 - Dimensions standardisées selon la norme ISO-KF (suivant DIN 28403 et ISO 2861),
 - Tubing à joint métallique : de marque Swagelok ou de qualité équivalente.
 - Vannes : de marque VAT ou de qualité équivalente.
- La visserie doit être d'une classe de qualité équivalente ou supérieure à la classe 8-8.

Les marques et modèles desdits composants, des automates et de la visserie devront figurer dans la réponse technique des soumissionnaires.

Etant précisé que dans le cadre de la remise de son offre technique, le soumissionnaire transmettra les éléments justifiant de la Maintenabilité de l'Equipements proposé, par les équipes du CEA. Ce point constituera un élément du critère technique de jugement des offres.

Pour faciliter l'identification des thermocouples sur l'Equipement, le code couleur à utiliser pour les gaines (ou sur-gaine si la gaine n'est pas disponible dans la bonne couleur) et les connecteurs des thermocouples est indiqué ci-dessous :

- En marron : thermocouples de régulation des réservoirs de résine ;
- En rose : thermocouples de mesure des réservoirs de résine ;
- En jaune : thermocouples de régulations liés aux circuits de chauffage (moule et tuyaux le cas échéant) ;
- En bleu : thermocouples de mesure liés aux circuits de chauffage (moule et tuyaux le cas échéant) ;
- En vert : thermocouples de suivi du moule.

6. Système de contrôle, interface homme-machine et enregistrement des données

6.1 Informations générales

Le système de contrôle doit permettre la programmation de cycles thermiques et de remplissage à l'azote similaires à ceux indiqués dans le paragraphe 4.2.

Le nombre minimum de programmes d'imprégnation enregistrables doit être de 10.

Chaque programme doit pouvoir proposer au moins 30 étapes de programmation (remplissage azote / rampes de montée en température / descente / plateaux, ...).

Les variables entrant dans la programmation des étapes d'imprégnation sont les suivantes :

- Température initiale de l'étape, en °C ;
- Température finale de l'étape, en °C ;
- Vitesse de rampe, en °C/heure ou durée de l'étape, en heure-minute ;
- Pression initiale d'azote ;
- Pression finale d'azote.



Lié à la maintenabilité à très long terme de l'équipement par les équipes du CEA et de compatibilité avec la gestion des systèmes informatiques du CEA, le système de contrôle commande doit :

- Reposer sur un automate PLC SIEMENS S7-1500 ou équivalent ;
- Utiliser une interface SIEMENS SIMATIC Win CC Unified ou équivalent ;
- Utiliser la norme de communication PROFINET ;
- Toutes les communications (internes et externes à l'automate) doivent être réalisées par un réseau filaire ;
- A destination du réseau externe, disposer d'une seule carte réseau, dédiée à un réseau Ethernet. Toute puce supplémentaire Wifi et/ou 4G/5G sur la carte réseau est strictement interdite ;
- Le port COM OPC UA doit être ouvert.

Le cas échéant, l'ordinateur nécessaire au bon fonctionnement de l'Equipement sera fourni par le Titulaire. Le Titulaire a en charge de définir la configuration minimale requise au bon fonctionnement du système qui devra être :

- Compatible avec le système d'exploitation Windows 11 Professionnel ;
- Compatible avec les mises à jour (type Windows Update) ;
- Compatible avec les futures évolutions du système d'exploitation (de type Windows 12) ;
- En cas d'accès nécessaire à des sites internet (pour d'éventuelles mises à jour par exemple), ces derniers devront être déclarés au CEA pour vérification et autorisation d'accès.

6.2 Interface Homme-Machine (IHM)

L'interface Homme-Machine doit :

- Permettre le contrôle de la totalité de l'Equipement :
 - Régulation de la température (programmation, état actuel, cycle en cours, étape du cycle en cours, modification « à la volée » de la programmation, ...),
 - Suivi des thermocouples de régulation,
 - Suivi des thermocouples de suivi,
 - Suivi et manipulation du circuit de gaz azote,
 - Suivi des circuits vide (niveaux de vide).
- Permettre un accès complet en cas de connexion à distance sur l'ordinateur de contrôle. Toutes les actions réalisables devant le pupitre utilisateur de l'Equipement doivent pouvoir être réalisées dans le cadre d'une connexion à distance ;
- Utiliser un écran principal :
 - Plat,
 - Dont la diagonale minimale est de 21,5 pouces,
 - De résolution minimale de 1920 x 1080 pixels,
 - Les solutions de type écran rackable ou clavier-écran rackable sur rail sont acceptées.
- Si besoin, des écrans secondaires sont acceptés, sans contrainte de taille minimale ;
- Permettre à l'opérateur de choisir d'activer ou non les différentes voies d'acquisition de températures.
- L'intégralité des informations affichées doit être en français.

L'Interface Utilisateur (UI) sera élaborée avec le CEA pour personnaliser l'affichage des informations souhaitées et devra :

- Avoir une interface claire et rapide à prendre en main :
 - La complète maîtrise de cette interface devra être obtenue par les équipes du CEA sur la durée de la formation ;
 - Le projet d'interface devra être décrit par le soumissionnaire ;

- Afficher la totalité des étapes de programmation sur une seule fenêtre, fixe, sans utiliser de défilement horizontal ou vertical ;
- L'interface finale sera réalisée de manière conjointe avec le CEA, la réalisation de cette dernière ne pouvant avoir lieu sans accord écrit du CEA. Un minimum de 5 réunions de 2 heures avec le CEA est à prévoir ;
- Avoir une fenêtre principale, nommée « Page d'accueil », qui doit à minima :
 - Être affichée en plein écran,
 - Afficher une interface claire, sous forme de synoptique reprenant l'aspect de la station d'imprégnation,
 - Indiquer au minimum les informations suivantes :
 - Pression au niveau du moule,
 - Température de la ou des sondes de régulation,
 - Température des thermocouples de suivi.
 - Proposer une navigation vers les autres pages via une commande « Menu »,
 - Indiquer en permanence l'état du cycle actuel (en cours, à l'arrêt).

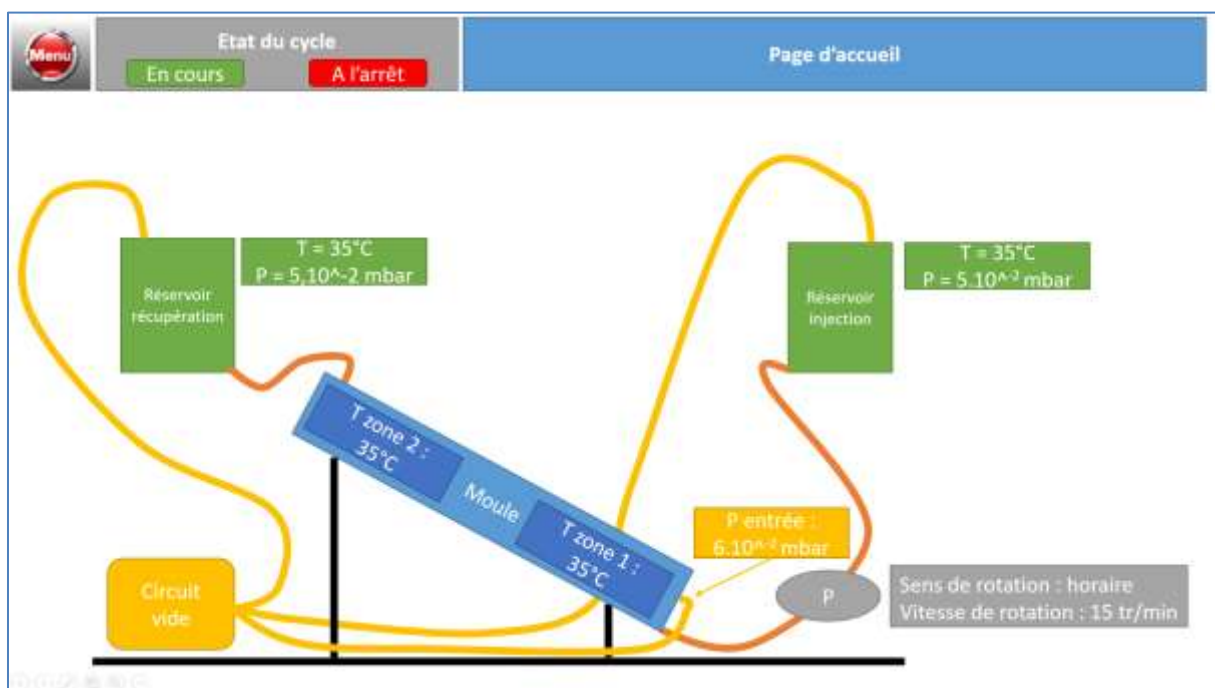


Figure 17 : Exemple, pour illustration uniquement, d'une fenêtre type « Page d'accueil »

En cas d'utilisation des malaxeurs, l'affichage devra indiquer les informations liées aux malaxeurs, indiquées au paragraphe 5.1.7.

- Avoir une fenêtre secondaire, nommée par exemple « Cycle en cours », qui doit à minima :
 - Être affichée en plein écran,
 - Afficher sous forme de graphique actualisé en temps réel les données sélectionnées depuis une date et un horaire donné,
 - Regrouper les données à sélectionner en fonction de leur nature (Débit, Pression, Température, ...),
 - Proposer la sélection des données ainsi que l'échelle utilisée pour chaque paramètre (via des cases à cocher par exemple),
 - Proposer une commande directe pour exporter les données sélectionnées dans un format .csv ou .txt à des fins d'analyse sur un autre ordinateur ou de sauvegarde,
 - Proposer un retour direct à la page d'accueil,

- Indiquer en permanence l'état du cycle actuel (par exemple : nom de l'étape en cours, cycle à l'arrêt, ...).



Figure 18 : Exemple, pour illustration uniquement, d'une fenêtre type "Cycle actuel"

- Avoir une fenêtre dédiée aux informations liées au système de chauffage qui doit :
 - Être affichée en plein écran,
 - Afficher sous forme de synoptique les données liées au chauffage :
 - Pour chacun des circuits de chauffage utilisés :
 - Températures du thermocouple de régulation (lue et consigne) ;
 - Température des thermocouples de suivi ;
 - Consigne de la température de sécurité ;
 - Puissance injectée dans chacun des circuits de chauffage.
 - Proposer un retour direct à la page d'accueil,
 - Indiquer en permanence l'état du cycle actuel (en cours, à l'arrêt).



6.3 Système d'acquisition des données

Le système d'acquisition des données doit collecter ces dernières de manière centralisée (1 seul appareil pour les acquérir et les enregistrer) et être dimensionné pour pouvoir enregistrer les paramètres suivants :

- Paramètres généraux :
 - Date, heure, minute, seconde (calendaires), à partir d'un « Départ cycle »,
 - Température de l'air environnant la station d'imprégnation,
 - Humidité de l'air environnant la station d'imprégnation,
 - Etat des sources d'énergie (présence / absence).

En parallèle à ces paramètres généraux, doivent également être enregistrées les données suivantes :

- Données liées à la partie « Résine », se référer au paragraphe 5.1.7 ;
- Données liées à la partie « Vide », se référer au paragraphe 5.2.6 ;
- Données liées à la partie « Gaz », se référer au paragraphe 5.3.3 ;
- Données liées à la partie « Chauffage », se référer au paragraphe 5.4.6 ;

Fréquence et durée de l'acquisition :

- La fréquence d'acquisition simultanée de l'ensemble des paramètres doit être comprise et réglable entre, a minima, 1 acquisition complète chaque seconde (1 Hz) et 1 acquisition complète chaque minute (~0.017 Hz) ;
- Durée maximale de l'enregistrement : 20 jours consécutifs.

Le système d'enregistrement des données doit permettre l'extraction des données en cours de cycle de traitement thermique.

Les fichiers contenant les données devront être de type .txt ou .csv.

6.4 En cas de coupure de l'alimentation en électricité

En cas de rupture de l'alimentation électrique, la station d'imprégnation et tous ses équipements doivent :

- Continuer le cycle thermique (acquisition des données, déroulement du programme, ...) mais sans appliquer la puissance de chauffe ;
- Redémarrer le cycle thermique en appliquant (si besoin) la puissance de chauffe dès l'alimentation en électricité rétablie ;
- Aucun réseau électrique secouru n'est disponible, aussi, les systèmes électriques doivent être alimentés par un élément de type onduleur lors des coupures de courant. Ce système est à la charge du Titulaire et doit garantir une autonomie d'au moins 30 minutes.

6.5 En cas de coupure de l'alimentation en air comprimé

En cas de rupture de l'alimentation en air comprimé, le Titulaire devra indiquer le besoin éventuel d'une alimentation de secours en gaz Azote, la quantité de gaz nécessaire et sa pression.



6.5.1 Alarmes automatiques

Le système de contrôle doit analyser l'état de l'Équipement et générer automatiquement les alarmes suivantes :

- Une alarme acoustique et visuelle en cas de rupture de l'alimentation en électricité ;
- Une alarme acoustique et visuelle en cas de température anormale de l'un des thermocouples de régulation (casse d'un thermocouple) ;
- Une alarme acoustique et visuelle en cas de température anormale de l'un des thermocouples de suivi (casse d'un thermocouple) ;
- Une alarme acoustique et visuelle en cas d'arrêt de la circulation de l'eau de refroidissement des malaxeurs ;
- Une alarme acoustique et visuelle si le cycle de cuisson de la résine est interrompu avant sa fin programmée.

En aucun cas les alarmes indiquées ci-dessus ne doivent entraîner un arrêt automatique du cycle de cuisson de la résine.

Les seuils de ces alarmes devront être réglables dans l'IHM.

Ces alarmes doivent être relayées par courriel sur 7 différentes adresses de courriel, programmables depuis l'IHM.

7. Etudes détaillées

7.1 Design mécanique

Le Titulaire est en charge de réaliser le design détaillé de l'Équipement. Le Titulaire est en charge de la réalisation du modèle 3D définitif et de tous les plans de fabrication.

7.2 Outillages divers

La définition et la réalisation des outillages nécessaires à l'exécution de la prestation incombent au Titulaire. Il est notamment laissé à l'appréciation de celui-ci le nombre d'outillages à prévoir et les protections des interfaces nécessaires.

7.3 Contrôle commande, acquisition et Interface Homme Machine (IHM)

Le Titulaire est en charge de la définition du contrôle commande, du système d'acquisition et de l'Interface Homme Machine.

Cela inclut toutes les procédures et notes de fonctionnement, la définition des équipements nécessaires au bon fonctionnement, les plans de circuit de commande, ainsi que les manuels d'utilisation.

7.4 Validation des études

Une revue de validation des études (FDR, voir paragraphe 14.3.2) devra être organisée afin de valider le design détaillé de l'Équipement, avant le lancement en production. Cette étape constitue un point d'arrêt (HP1).



8. Fabrication

8.1 Matière première

Un certificat matière de type 3.1 suivant la norme ISO 10204 doit être fourni pour toutes les matières premières utilisées en contact avec le circuit vide. Sinon, un certificat matière de type 2.1 est suffisant. Les matériels du commerce (visserie ...) doivent être fournis avec un certificat de conformité.

8.2 Accessoires de levage

Le Titulaire devra fournir notamment un jeu complet d'anneaux de levage et d'élingues, afin de permettre de lever l'Équipement et/ou ses composants associés.

L'ensemble des accessoires de levage devra être accompagné des certificats de conformité correspondants et marqués CE.

9. Installation, mise en service, contrôles et essais

9.1 Généralités

Le CEA se réserve le droit d'être présent ou de se faire représenter par l'organisme de son choix lors des contrôles, dans les locaux du titulaire ou de ses sous-traitants. Le CEA devra être prévenu au moins 5 jours ouvrables à l'avance du déroulement des contrôles et essais.

Il est de la responsabilité du titulaire de réaliser tous les contrôles intermédiaires qu'il juge nécessaires pour la réalisation de la présente prestation, conformément aux exigences du Cahier des Charges et de ses annexes associées.

Tous les contrôles décrits dans ce cahier des charges et annexes associées sont obligatoires.

Le Titulaire doit fournir tout outillage, équipement et personnel nécessaire à la bonne exécution des tests définis dans le cahier des charges et annexes associées.

Les tests en usine permettent de déterminer si l'équipement respecte entièrement les critères définis dans ce cahier des charges et annexes associées. Si les tests démontrent que l'un quelconque des points de ce cahier des charges et annexes associées n'est pas respecté, le Titulaire doit apporter les corrections nécessaires et les tests sont alors renouvelés à ses frais.

Les procédures des différents contrôles sont envoyées au CEA dans le dossier de fabrication décrit au paragraphe 15.2.5. La validation écrite du CEA intervient dans un délai de 2 semaines à compter de la réception des documents. Les contrôles ne peuvent pas être effectués sans cette approbation du CEA. Le dossier de fabrication devra être mis à jour avec ces procédures.

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

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

9.2 Contrôles en usine

9.2.1 Contrôles dimensionnels

Les cotes fonctionnelles et leurs tolérances telles que définies dans les plans de détail doivent être contrôlées avec des équipements adaptés.



Le procès-verbal de contrôle mettra en évidence toutes les cotes avec leurs valeurs mesurées et leur écart par rapport aux tolérances imposées.

Une procédure de contrôle doit être fournie au CEA pour validation.

9.2.2 Essais de fonctionnement en usine

Des essais de fonctionnement de l'Équipement seront réalisés en usine et en présence du CEA. Toutes les fonctions seront testées, y compris toute la partie contrôle commande, système d'acquisition et IHM. Les performances à atteindre sont celles décrites dans ce cahier des charges et ses annexes associées.

Une procédure de contrôle doit être fournie au CEA pour validation.

Ces essais de fonctionnement seront à minima les suivants :

Essai n°1 : Définition du vide limite *usine* (V_{lu}) et du débit de fuite *usine* (Q_{fu})

- Démarrage de la pompe à vide et tirage au vide du circuit lié au vide pendant 24h afin de définir le vide limite *usine* de l'Équipement ;
- Arrêt du pompage au vide et réalisation d'une remontée de pression d'une durée de 1 h pour déterminer le débit de fuite *usine* de l'Équipement.

Essais complémentaires pour vérifier le bon fonctionnement de tous les éléments (circuit de chauffe, thermocouples, circuit azote, IHM, ...) mais sans moule d'imprégnation.

9.3 Installation et mise en service

Le Titulaire est en charge de l'installation de l'Équipement au CEA. Le Titulaire devra venir avec tous les outillages nécessaires.

Le CEA devra être prévenu au moins 2 semaines à l'avance de la date de l'installation. Une réunion de sécurité sera organisée avec les responsables de la sécurité du CEA.

Une gamme d'assemblage complète devra être envoyée 2 semaines avant l'assemblage, décrivant toutes les opérations prévues.

Des essais de fonctionnement seront réalisés afin de vérifier la conformité de l'installation de l'Équipement, l'azote nécessaire à la mise en service étant à la charge du CEA. Ces essais de fonctionnement seront à minima les suivants :

Essai n°1 : Définition du vide limite *mise en service* (V_{lms}) et du débit de fuite *mise en service* (Q_{fms})

- Démarrage de la pompe à vide et tirage au vide du circuit lié au vide pendant 24h afin de définir le vide limite de l'Équipement ;
- Arrêt du pompage au vide et réalisation d'une remontée de pression d'une durée de 1 h.

Essai n°2 : Réalisation d'un cycle complet d'imprégnation en utilisant un moule d'imprégnation existant au CEA.

Aucun accès à Internet ne sera possible pour l'Équipement lors de son installation et pendant une durée d'un mois après cette dernière, le temps pour le CEA de réaliser toutes les interventions sur le réseau afin de permettre la connexion de l'Équipement. Ces interventions sont transparentes vis-à-vis de la mise en service de l'Équipement, ainsi, les essais n°1 et 2 peuvent être réalisés en parallèle.

10. Formation

La formation sera effectuée par le Titulaire à l'issue de la mise en service de l'Équipement sur le site du CEA et portera sur :

- La sécurité ;



- Le fonctionnement de l'Équipement :
 - Principe de fonctionnement ;
 - Procédures de mise en service et d'arrêt de l'installation et de cet équipement
 - Marche à suivre en cas de dysfonctionnements.
- L'étalonnage ;
- La mise en place de fichiers de configurations ;
- Les réglages, l'entretien courant et la maintenance de l'équipement dans son ensemble ;
- La formation sur le logiciel de pilotage ;
- La formation à l'utilisation de l'équipement.

Le nombre de journées et le contenu seront détaillés par le soumissionnaire. Il est prévu de réaliser la formation lors des essais validant la mise en service de l'installation (et décrits au paragraphe 9.3).

11. Réception de l'Équipement

La réception de l'Équipement est prononcée par le CEA après satisfaction des conditions suivantes :

- La réalisation satisfaisante des essais et contrôles en usine ;
- La livraison de l'Équipement sur le site du CEA/Saclay ;
- L'absence de dégâts matériels survenu lors du transport ;
- L'installation et la mise en service sur le site du CEA/Saclay ;
- La validation par le CEA de l'ensemble des livrables documentaires associés ;
- La formation terminée.

12. Garantie

Une garantie de 12 mois s'appliquera sur l'ensemble de l'Équipement une fois la réception de l'Équipement prononcée.

13. Calendrier prévisionnel

Le planning devra indiquer, à partir de T0 (signature de la commande), les différentes étapes. Ce calendrier doit également justifier l'adéquation entre les délais sur lesquels s'engage le Titulaire et les ressources affectées à l'exécution de la prestation.

Un planning détaillé et réactualisé de la prestation devra ensuite être soumis au CEA lors de la réunion d'enclenchement.

Le planning prévisionnel souhaité est indiqué dans le tableau ci-après. Les délais indiqués dessous sont indicatifs et souhaités maximum par le CEA. Dans son offre, chaque soumissionnaire veillera à s'en approcher ou à les optimiser.

REF	Étapes	Dates estimées	Livrables
SIG	Signature du marché	T0	Marché
MS1	Réunion d'enclenchement	T0 + 2 semaines	Planning prévisionnel à jour PAQ
HP1	Final Design Review (FDR)	T0 + 4 mois (=T1)	Modèle 3D final



			Plans de détail mécaniques Schémas électriques Notes de calculs ou nécessaires à la validation des études Notes de fonctionnement Manuel d'utilisation préliminaire
HP2	Production Readiness Review (PRR)	T1 + 1 mois (=T2)	Prise en compte des éventuels commentaires émis par le CEA lors de la FDR Procédures de fabrication et de contrôle Toute la documentation nécessaire à la fabrication LDA et LOFC
MS2	Livraison des composants principaux pour la fabrication	T2 + 2 mois	Certificat matière et preuve de livraison
HP3	Tests en usine	T2 + 5 mois	PV de contrôle et tests signés par les deux parties
MS3	Installation au CEA de Saclay	T2 + 7 mois (T3)	Livraison et installation de tous les composants Mise en service Formation du personnel CEA Livraison de toute la documentation

Les HP (points d'arrêt) feront l'objet d'un PV signé par les deux parties afin d'autoriser la suite du marché. En particulier, le Titulaire ne pourra pas lancer la fabrication des différents éléments sans la signature d'un PV pour les HP1 et 2.

Les MS sont des étapes qui devront être suivies dans le planning fourni par le Titulaire.

Si le Titulaire détecte la moindre déviation d'un HP ou d'un MS, il devra immédiatement alerter le CEA et prendre toutes les mesures possibles pour réduire l'impact d'un décalage sur les jalons finaux.

14. Suivi du marché

14.1 Correspondance

Tout changement d'interlocuteur durant l'exécution de la prestation, doit être notifié par écrit à l'autre partie.

- Correspondant technique du Titulaire

Le Titulaire nomme un responsable technique de l'exécution de la prestation et de son suivi pendant toute la durée de celle-ci. Cette personne possède la qualité d'interlocuteur privilégié du CEA.



- Correspondants du CEA

Les correspondants du CEA sont les suivants :

- Correspondants techniques :
 - Thibault GENESTIER, +331 69 08 49 85, thibault.genestier@cea.fr
 - Gaël DISSET, +331 69 08 52 15, gael.disset@cea.fr
- Correspondant commercial :
 - Pauline Bouça-Besseau, +33 1 69 08 50 11, pauline.bouca-besseau@cea.fr.

14.2 Rapport d'avancement

Le Titulaire devra transmettre au CEA un rapport d'avancement par email au moins une fois toutes les deux semaines.

14.3 Réunions

En fonction des conditions sanitaires en vigueur, certaines de ces réunions pourront être tenues en visioconférence, pour tout ou partie des participants.

A l'exception de la réunion d'enclenchement, le Titulaire est en charge de la rédaction des comptes rendus de réunion. Ils devront être transmis au CEA au maximum une semaine après la tenue de la réunion pour commentaires et validation.

14.3.1 Réunion d'enclenchement

La réunion d'enclenchement pourra avoir lieu soit à Saclay, soit chez le Titulaire et à une date conforme au calendrier prévisionnel (paragraphe 11). Le CEA doit rédiger le compte-rendu de la réunion.

Le planning et le PAQ (Plan d'Assurance Qualité) devront être fournis et présentés au CEA au cours de cette réunion.

L'ordre du jour de la réunion sera :

- Présentation des deux parties, le CEA et le Titulaire ;
- Confirmation des spécifications techniques ;
- Confirmation des différents jalons du contrat ;
- Liste des données d'entrée nécessaires au Titulaire pour commencer les activités ;
- Présentation du planning du Titulaire ;
- Présentation du PAQ du Titulaire.

14.3.2 Final Design Review (FDR)

La FDR pourra avoir lieu soit à Saclay, soit chez le Titulaire et à une date conforme au calendrier prévisionnel (paragraphe 11). Les documents pour cette revue, en particulier le modèle 3D à jour, les plans de détails et les notes de fonctionnement devront avoir été transmis au CEA 5 jours au minimum avant la date de cette revue. Cette revue constitue le point d'arrêt HP1.

L'ordre du jour de la FDR est :

- Revue du modèle 3D ;
- Revue des plans détaillés ;
- Schémas électriques ;



- Revue des éventuelles notes (calculs, documents d'études) ;
- Revue des notes de fonctionnement (contrôle commande, système d'acquisition, IHM, ...) ;
- Présentation des choix techniques pour la fabrication ;
- Présentation de l'IHM ;
- Présentation et revue des interfaces entre l'équipement et l'infrastructure du CEA ;
- Présentation de la LOFC ;
- Présentation du PAQP ;
- Point d'avancement, mise à jour du planning et vérification du respect du planning.

14.3.3 Production Rediness Review (PRR)

La PRR pourra avoir lieu soit à Saclay, soit chez le Titulaire et à une date conforme au calendrier prévisionnel (paragraphe 1113). Les documents pour cette revue, devront avoir été transmis au CEA 5 jours au minimum avant la date de cette revue. Cette revue constitue le point d'arrêt HP2. La fabrication ne pourra débuter qu'après la levée des points d'arrêt HP1 et HP2.

L'ordre du jour de la PRR est :

- Vérification que les éventuels commentaires et remarques faits suite à la FDR ont bien été pris en compte dans le modèle 3D, les plans de détails et les éventuelles notes associées ;
- Revue de toutes les procédures de fabrication et de contrôle ;
- Revue du PAQP ;
- Revue de la LOFC ;
- Revue de la LDA ;
- Point d'avancement, mise à jour du planning et vérification du respect du planning.

14.3.4 Réunions d'avancement

Des réunions d'avancement complémentaires (à l'occasion de chaque étape importante du projet) pourront être organisées par le Titulaire ou le CEA. L'ordre du jour sera fixé lors de la demande de réunion.

14.4 Inspection, visite et audit du site de fabrication

Toutes les informations importantes sont échangées par écrit entre les correspondants techniques de chaque partie.

Plusieurs visites de représentants du CEA sont à prévoir, notamment en vue des essais et contrôles techniques en usine.

En cas de désaccord éventuel sur les résultats des essais et contrôles, le CEA se réserve le droit de faire appel à un organisme extérieur afin que celui-ci procède à une expertise.

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.

14.5 Sous-traitance

La sous-traitance est autorisée dans le cadre défini par le marché et les conditions générales d'achat du CEA. Les sous-traitants sont soumis aux mêmes exigences que le Titulaire.

15. Livrables documentaires

Dans le cadre de l'exécution du marché, le Titulaire remet au CEA les livrables documentaires mentionnés ci-après.



15.1 Livrables à remettre à la réunion d'enclenchement

Lors de la réunion d'enclenchement, le Titulaire doit fournir :

- Un plan d'assurance de la qualité (PAQ) ;
- Un calendrier détaillé ;
- La liste des sous-traitants éventuels et des opérations sous-traitées.

15.2 Livrables liés aux études et à la fabrication

15.2.1 Plans

Le Titulaire est en charge de réaliser tous les modèles 3D et les plans de fabrication.

Le Titulaire devra transmettre au CEA pour validation et gestion des interfaces le modèle 3D définitif (en format .stp ou un format natif Siemens NX), et les plans 2D (en format .pdf et format natif).

Les Soumissionnaires indiqueront dans leur offre le logiciel de CAO utilisé.

15.2.2 Schémas électriques

Le Titulaire est en charge de réaliser tous les schémas électriques.

15.2.3 Notes de fonctionnement

Le Titulaire est en charge de toutes les notes de fonctionnement ainsi que de la rédaction des manuels utilisateurs.

Le Titulaire est en charge de la documentation sur l'évaluation des risques, décrivant la procédure suivie, y compris :

- Une liste des règles techniques qui s'appliquent à la machine ;
- Une description des mesures de protection mises en œuvre afin d'éliminer les dangers recensés ou de réduire les risques et, le cas échéant, une indication des risques résiduels liés à la machine.

15.2.4 Documents complémentaires pour la validation des études

Le Titulaire joindra aux plans toutes les notes qu'il jugera nécessaire à la validation des études. En particulier :

- Notes de calcul ;
- Notes explicitant les différents choix techniques faits ;
- Les normes et autres spécifications techniques utilisées, en précisant les règles techniques couvertes par ces normes ;
- La liste des composants de rechange et leur criticité sur le fonctionnement de l'Équipement, ainsi que les coûts et délais d'approvisionnement.

15.2.5 Dossier de fabrication

Le Titulaire remet les livrables documentaires suivants, associés à la fabrication des pièces :

- Les procédures comprenant *a minima* :
 - Le PAQP,
 - La LOFC,
 - Les procédures de fabrication,
 - Les procédures d'essais et contrôles,



- La procédure d'emballage.
- La liste des outillages nécessaires et leur description ;
- La liste des tâches effectuées en sous-traitance ;
- La liste des documents applicables (LDA).

15.2.6 Documents liés à la facturation de la phase A

Les documents attendus pour la phase A sont les suivants :

- Modèle 3D final de l'Equipement ;
- Plan d'ensemble 2D final de l'Equipement ;
- Schémas électriques de l'Equipement ;
- Eventuelles notes (calculs, documents d'études) ;
- Eventuelles notes de fonctionnement (contrôle commande, système d'acquisition, IHM, ...) ;
- Document de présentation des choix techniques pour la fabrication ;
- Document de présentation de la Liste de Opérations de Fabrication et de Contrôle (LOFC) ;
- Présentation du PAQP ;
- Planning mis à jour.

15.3 Dossier final

Le Titulaire devra fournir un dossier fournisseur complet.

En plus des documents (dans toutes leurs versions utilisées pour la fabrication) fournis lors de la FDR et de la PRR, le dossier fournisseur doit comprendre :

- Les versions finales et définitives de tous les documents listés au paragraphe 15.2 et décrits dans ses sous-paragraphe ;
- La notice d'utilisation de l'Equipement ;
- Les codes sources des logiciels et automates permettant au CEA d'assurer la maintenabilité de l'équipement au cours des années ;
- Les « certificats matière » de tous les matériaux approvisionnés par le Titulaire et utilisés dans le processus de fabrication ;
- Le cas échéant, les certificats de traitements de surface réalisés ;
- Le cas échéant, une déclaration d'incorporation relative aux quasi-machines incluses et les notices d'assemblage pertinentes qui concernent celles-ci ;
- Le cas échéant, une copie de la déclaration CE de conformité de la machine ou d'autres produits incorporés dans la machine ;
- Une copie de la déclaration CE de conformité ;
- La plaque de conformité CE ;
- Le livret suiveur de chaque élément ou groupe d'éléments avec toutes les opérations effectuées durant la fabrication. Ce livret inclut les éléments suivants :
 - Les résultats de tous les essais et contrôles,
 - Les procès-verbaux (PV) correspondants.
- Les éventuelles photographies illustrant les étapes de fabrication ;
- La liste des tâches effectuées par un sous-traitant (le cas échéant) associées au nom de la société sous-traitante ;
- La LOFC complétée ;
- Le PAQP complété ;
- Les éventuelles dérogations ;
- Les éventuelles fiches de non-conformité ;
- Les éventuelles fiches de suivi des modifications ;
- Le bilan carbone de l'équipement (déclaratif).



Les autres documents constitutifs du dossier de fabrication sont à remettre au plus tard à la livraison des pièces sur le site de Saclay, et à incorporer dans un dossier final de fabrication avec les livrables documentaires remis précédemment.

Toutes les versions des différents documents utilisées durant la fabrication et/ou listées dans le PAQP, la LOFC ou la LDA devront être incluses dans le dossier de fabrication. Les différentes versions de la LDA devront être incluses dans le dossier.

15.4 Format des livrables documentaires

Le Titulaire présente les livrables :

- Rédigés en langue française ;
- Pour les versions intermédiaires, sur simple demande du CEA : au format Word ou PDF, sur support électronique (courriel, clé USB, ...) ;
- Pour les versions finales, validées par le CEA : au format Word ou PDF, sur support électronique (courriel, clé USB) ainsi qu'un tirage sur support papier.

Le dossier final de fabrication doit être remis à la livraison sur le site du CEA Paris-Saclay et sur des supports compatibles avec ceux utilisés par le CEA.

16. Assurance de la qualité et exigences environnementales

16.1 Plan d'assurance de la qualité

Le Titulaire établit un Plan Assurance Qualité Particulier (PAQP) relatif à sa fourniture, conformément aux exigences de la norme ISO 9001 : 2015, complété par les procédures particulières du présent cahier des charges.

Si le Titulaire n'est pas certifié ISO 9001 : 2015, il définit l'organisation mise en place pour traiter ce marché et suivre ses sous-traitants, l'organisation du personnel et la justification de sa qualification, les interfaces, la prise en considération des exigences formulées par le CEA, l'établissement des révisions successives des documents relatifs à la prestation considérée.

Dans tous les cas, le Titulaire doit remettre un Plan d'Assurance Qualité Particulier (PAQP) qui sera complété par une liste des documents qualité que le Titulaire utilise pour répondre aux exigences du présent cahier des charges.

Le Titulaire s'assure que tous ses sous-traitants respectent les dispositions du PAQP.

Ce plan inclut :

- La nomination d'un représentant en charge du suivi de ce marché, du CEA et du Titulaire ;
- 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 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 ;
- Mise en place et description de la gestion de la qualité utilisée pour le marché sous un délai de 3 semaines après la signature du marché. Ce système de gestion de la qualité décrit en particulier comment les non-conformités et les changements doivent être traités. Le système de management de la qualité doit être approuvé par le CEA.



Le CEA se réserve la possibilité d'effectuer à tout moment des vérifications concernant l'application de ce PAQP par le Titulaire.

16.2 Gestion des non-conformités

Toute non-conformité doit être signalée sans délai au CEA et documentée par un rapport de non-conformité (NCR). Dans cette hypothèse, le Titulaire doit proposer des mesures correctives (lorsque cela est possible), et des mesures préventives pour éviter une répétition des défauts constatés.

Toute poursuite d'activité sur un élément ayant fait l'objet d'une non-conformité ne peut intervenir qu'après accord écrit du CEA.

Le Titulaire tient à jour la liste exhaustive de toutes les non-conformités établies au cours de la prestation. Le statut des non-conformités et la mise en œuvre de méthodes préventives et/ou correctives doivent être discutés et examinés au cours des réunions d'avancement régulières ou exceptionnelles.

Les livrables associés à des non-conformités comprennent :

- Le détail de la non-conformité ;
- Le document formalisant l'accord du 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.

16.3 Gestion des modifications

Toute modification (de design, de mode ou de gamme de fabrication, de matière, de traitement, etc) doit faire l'objet d'une traçabilité.

Les modifications peuvent être proposées à l'initiative de l'une ou l'autre des parties par le biais d'une demande de modification comportant les éléments suivants :

- La motivation de la modification proposée ;
- Les détails techniques de la modification proposée ;
- Les conséquences de la modification proposée.

Les modifications proposées par le Titulaire ne peuvent être mises en œuvre sans l'accord écrit préalable du CEA.

16.4 Exigences environnementales

Les exigences environnementales ont pour objet toutes les dispositions nécessaires devant être prises pour l'intégration de l'Equipement dans le cycle environnemental : innocuité des composants et des consommables, réutilisation des composants associés.

La fin de vie de l'Equipement devra être prise en compte dans la conception ainsi le Titulaire fournira des indicateurs qui seront à minima les suivants :

- La fourniture de la procédure de démontage,
- La liste des matériaux pouvant être triés pour réemploi ou recyclage.

Le Titulaire devra fournir à titre indicatif un bilan carbone de l'Equipement.

Le Titulaire devra fournir au CEA la liste de tous les déchets potentiels qui pourraient provenir de l'utilisation de l'Equipement.

Des matériaux recyclables pour l'emballage de l'Equipement sont à prévoir.



17. 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.