

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES



CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Délégation Île-de-France Sud
1 Avenue de la Terrasse – 91190 Gif-sur-Yvette

**Jouvence d'un système de traitement thermique et d'oxydation de silicium
pour le Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies (C2N) du CNRS**

TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction : présentation du projet	3
1.1	Préambule	3
1.2	Contexte général – Enjeux scientifiques et technologiques	3
1.3	Objet du marché	3
1.4	Description des 4 tubes :	3
2	Description de l'équipement	5
2.1	Partie Zone blanche Fours Oxydations	5
2.2	Partie Zone grise Fours Oxydations	5
2.3	Partie exhaust	6
2.4	Empreinte au sol de l'équipement	8
3	Prestations attendues	9
3.1	Préalable	9
3.2	Conception du contrôle-commande et supervision	9
3.3	Fabrication et fourniture du système de contrôle-commande	10
3.4	Supervision logicielle et interface opérateur	10
3.5	Raccordement et séparation des circuits d'exhaust	11
3.6	Intégration sur site	11
3.7	Nettoyage automatique	12
3.8	Révision et changement des pièces	12
3.9	Vérification de l'homogénéité de température des tubes	12
3.10	Mise en service	12
4	Garantie et service après-vente	13
5	Délais de réalisation	13
6	Documentation technique	13
7	Formation	14
8	Transport	14
9	Modalités de retrait livraison, installation	14
9.1	Date et lieu de livraison	14
9.2	Installation	15
9.3	Règles de travail en salles propres	16
9.4	Mesures de sécurité / respect de la législation en vigueur	16

1 INTRODUCTION : PRESENTATION DU PROJET

1.1 Préambule

Le **Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies (C2N)**, résultant de la fusion de l'IEF d'Orsay et du LPN de Marcoussis en 2016, s'est installé sur le plateau de Saclay fin 2018. Sa vocation première est l'avancement coordonné de la recherche fondamentale et de la recherche appliquée, tant pour les recherches internes au laboratoire que pour celles développées en partenariat avec d'autres laboratoires publics ou privés, en s'appuyant sur l'exploitation et le développement de ses compétences technologiques.

Nœud francilien du réseau national des grandes centrales de technologie, le C2N va pérenniser ses équipements situés à l'état de l'art pour les nanotechnologies. Ces équipements seront ouverts non seulement aux chercheurs du C2N mais aussi à toute la communauté scientifique française.

1.2 Contexte général – Enjeux scientifiques et technologiques

La Centrale de Technologie du C2N sur le site de Palaiseau, dispose d'un ensemble de salles propres de plus de 2900 m², où convergeront plus de 300 personnes pour utiliser indifféremment des machines de dépôts, d'épitaxie, de lithographie, la microscopie, ou de gravure.

1.3 Objet du marché

L'objet du présent marché est la **jouvence du sytème de traitement thermique et d'oxydation du silicium** (communément appelé « four ») situé dans la salle blanche du C2N à Palaiseau. Cette opération vise à moderniser le système de contrôle-commande des quatre tubes thermiques existants, tout en maintenant les performances thermiques, la fiabilité opérationnelle et la sécurité du procédé.

La jouvence portera principalement sur le remplacement des éléments de pilotage devenus obsolètes (racks électriques, automatismes, supervision) par un système moderne, modulaire, et adapté aux exigences des environnements propres. L'architecture proposée devra permettre une gestion indépendante de chaque tube, une régulation thermique précise, ainsi qu'un suivi en temps réel des traitements.

Cette modernisation est indispensable pour garantir la continuité d'utilisation de ces équipements critiques dans le cadre des activités de recherche en micro et nanotechnologies conduites au sein du C2N.

1.4 Description des 4 tubes :

L'équipement est composé de 4 réacteurs tubulaires en quartz, conçu pour fonctionner à des températures allant jusqu'à 1200°C.

1.4.1 Tube A1 : Tube d'oxydation humide et sèche

Il dispose de trois zones de chauffe régulées indépendamment par deux jeux de thermocouples (un jeu de trois thermocouples de type S se situant sur les résistances chauffantes du four et un jeu de trois thermocouples de type K se situant dans un tube de quartz posé dans le tube principal), le tout permettant d'assurer une homogénéité thermique sur une zone de 400 mm.

Le tube est également équipé d'une torche dans laquelle passe l'oxygène (O₂) et l'hydrogène (H₂), et permettant de dissocier ces derniers pour réaliser l'oxydation dite humide du silicium.

L'azote (N₂) est également présent sur ce tube afin d'assurer une atmosphère neutre.

L'alimentation en gaz est assurée par un système de distribution, intégrant des vannes de régulation et des débitmètres massiques. Le contrôle des flux est effectué par un automate industriel garantissant une grande précision et une reproductibilité des process.

L'ensemble est piloté par une interface de contrôle assurant la gestion des températures, des flux de gaz et des cycles de process.

1.4.2 Tube A2 : Tube d'oxydation humide et sèche

Il dispose également de trois zones de chauffe régulées indépendamment par deux jeux de thermocouples (un jeu de trois thermocouples de type S se situant sur les résistances chauffantes du four et un jeu de trois thermocouples de type K se situant dans un tube de quartz posé dans le tube principal), le tout permettant d'assurer une homogénéité thermique sur une zone de 400 mm.

Le tube dispose d'oxygène (O₂) permettant de réaliser l'oxydation dite sèche du silicium.

L'azote (N₂) est également présent sur ce tube afin d'assurer une atmosphère neutre.

L'alimentation en gaz est assurée par un système de distribution, intégrant des vannes de régulation et des débitmètres massiques. Le contrôle des flux est effectué par un automate industriel garantissant une grande précision et une reproductibilité des process.

L'ensemble est piloté par une interface de contrôle assurant la gestion des températures, des flux de gaz et des cycles de process.

1.4.3 Tube B1 : Tube de recuit diélectriques

Il dispose également de trois zones de chauffe régulées indépendamment par deux jeux de thermocouples (un jeu de trois thermocouples de type S se situant sur les résistances chauffantes du four et un jeu de trois thermocouples de type S se situant dans un tube de quartz posé dans le tube principal), le tout permettant d'assurer une homogénéité thermique sur une zone de 400 mm.

Le tube dispose d'azote (N₂), d'Argon (Ar) et d'Argon hydrogéné (forming gas Ar :H₂-10%) permettant de réaliser recuit de matériaux diélectriques.

L'alimentation en gaz est assurée par un système de distribution, intégrant des vannes de régulation et des débitmètres massiques. Le contrôle des flux est effectué par un automate industriel garantissant une grande précision et une reproductibilité des process.

L'ensemble est piloté par une interface de contrôle assurant la gestion des températures, des flux de gaz et des cycles de process.

1.4.4 Tube B2 : Tube de recuit métalliques

Il dispose également de trois zones de chauffe régulées indépendamment par deux jeux de thermocouples (un jeu de trois thermocouples de type S se situant sur les résistances chauffantes du four et un jeu de trois thermocouples de type K se situant dans un tube de quartz posé dans le tube principal), le tout permettant d'assurer une homogénéité thermique sur une zone de 400 mm.

Le tube dispose d'oxygène (O₂) permettant de réaliser l'oxydation dite sèche du silicium.

Le tube dispose d'oxygène (O₂), d'azote (N₂), d'Argon (Ar) et d'Argon hydrogéné (forming gas Ar :H₂-10%) permettant de réaliser recuit de matériaux métallique ou de la résine de type silice.

L'alimentation en gaz est assurée par un système de distribution, intégrant des vannes de régulation et des débitmètres massiques. Le contrôle des flux est effectué par un automate industriel garantissant une grande précision et une reproductibilité des process.

L'ensemble est piloté par une interface de contrôle assurant la gestion des températures, des flux de gaz et des cycles de process.

1.4.5 Chargement et déchargement

Les chargements et les déchargements des substrats sont réalisés par un dispositif bras ou chariot motorisé, évitant les manipulations manuelles et minimisant la contamination particulière ainsi que les chocs thermiques éventuels. L'ensemble du système est intégré dans un châssis adapté à l'environnement salle blanche, avec un système d'extraction permettant l'évacuation sécurisée des effluents gazeux.

Cet équipement, installé en 2010, présente aujourd'hui des éléments électroniques et logiciels obsolètes, rendant sa maintenance de plus en plus complexe. L'objet de ce marché porte sur la jeunesse du four. Elle vise à moderniser l'ensemble du système de contrôle, à remplacer les composants critiques, assurer une pérennité des éléments de contrôle et de régulation de température et à assurer une compatibilité avec les exigences actuelles en matière de sûreté et de performance des procédés. L'objectif est de prolonger la durée de vie de cet équipement tout en améliorant sa fiabilité et sa précision pour répondre aux besoins croissants de la communauté scientifique.

2 DESCRIPTION DE L'EQUIPEMENT

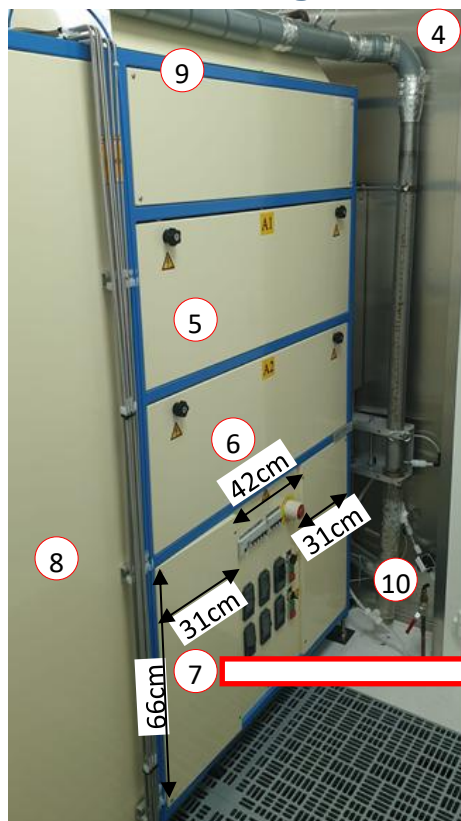
2.1 Partie Zone blanche Fours Oxydations

Le fabricant de celle-ci est Vegatec, le nom du modèle Four 001.



- 1 – Écrans de contrôle
- 2 – Tube A1
- 3 – Tube A2

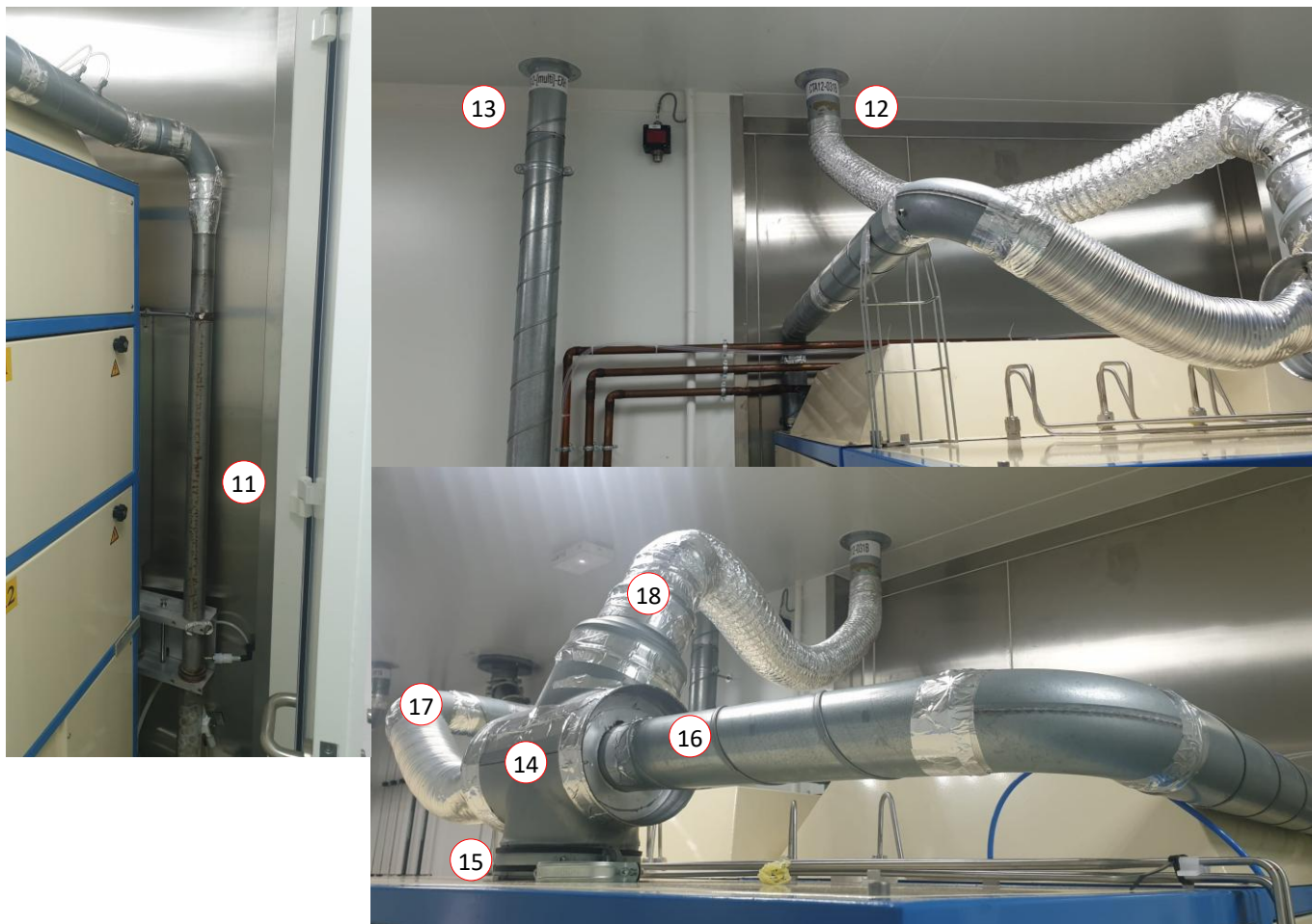
2.2 Partie Zone grise Fours Oxydations



- 4 – Photo du bas
- 4 – Évacuations des gaz tubes A1&A2
- 5 – Tube A1 partie chauffage
- 6 – Tube A2 partie chauffage
- 7 – Rack électrique
- 8 – Armoire d'arrivée et de contrôle des gaz
- 9 – Partie refroidissement
- 10 – Partie piégeage du chlore de nettoyage

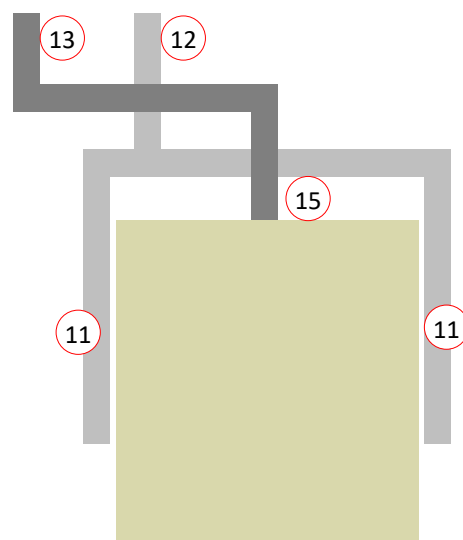


2.3 Partie exhaust



- 11 – évacuation des tubes A1 & A2 (évacuation symétrique sur B1 & B2)
- 12 – évacuation générale vers l'extérieur actuelle (réservée pour les process dans ce marché)
- 13 – évacuation vers l'extérieur prévue pour l'armoire
- 14 – Té général à dissocier
- 15 – sortie évacuation armoire à séparer
- 16 & 17 – arrivées des évacuations des tubes respectivement A1-A2 et B1-B2
- 18 – départ du Té pour évacuation générale

Schéma de modification



Vue arrière de l'équipement
coté doigt gris

Figure 1 - Vue schématique de la machine

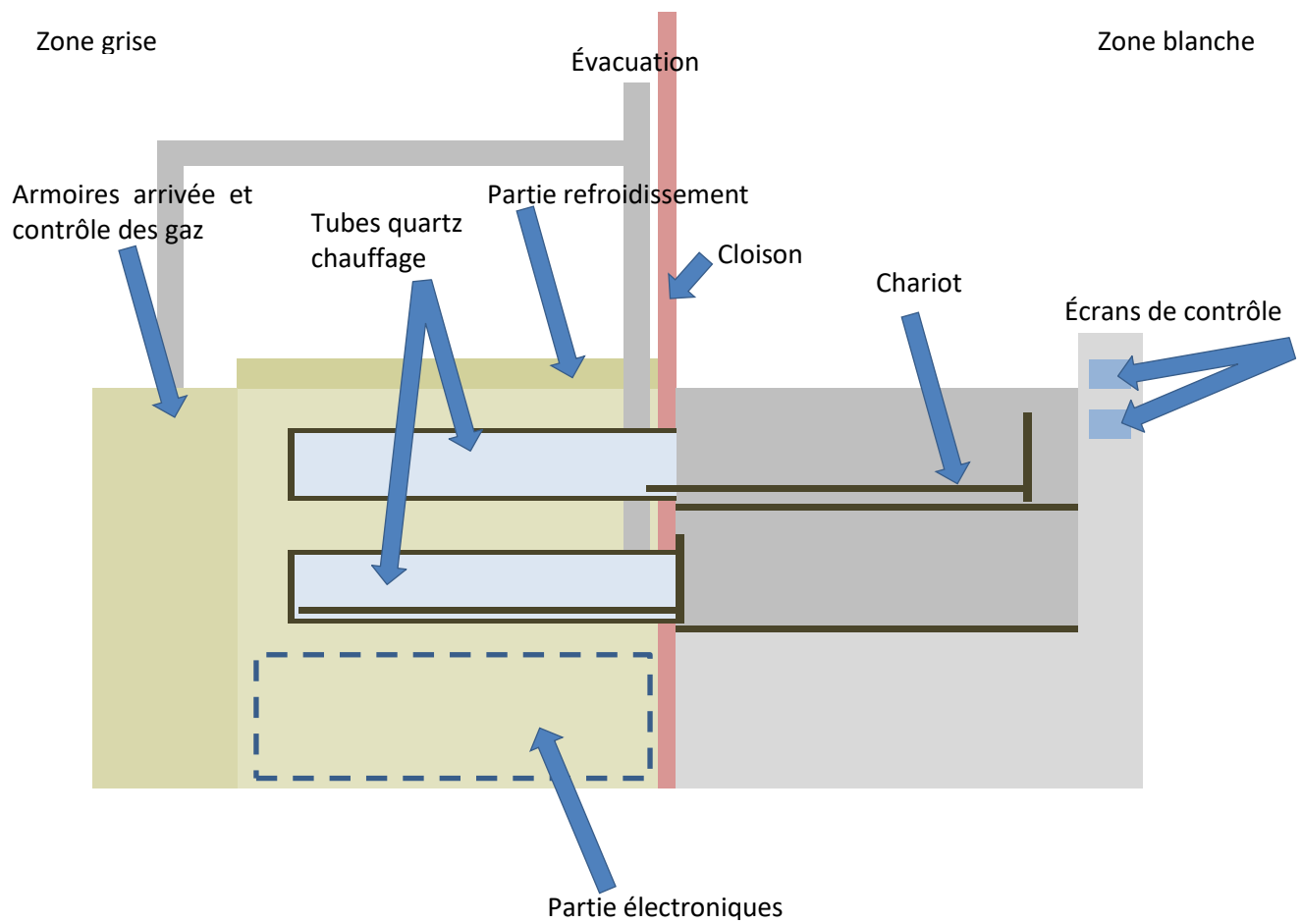
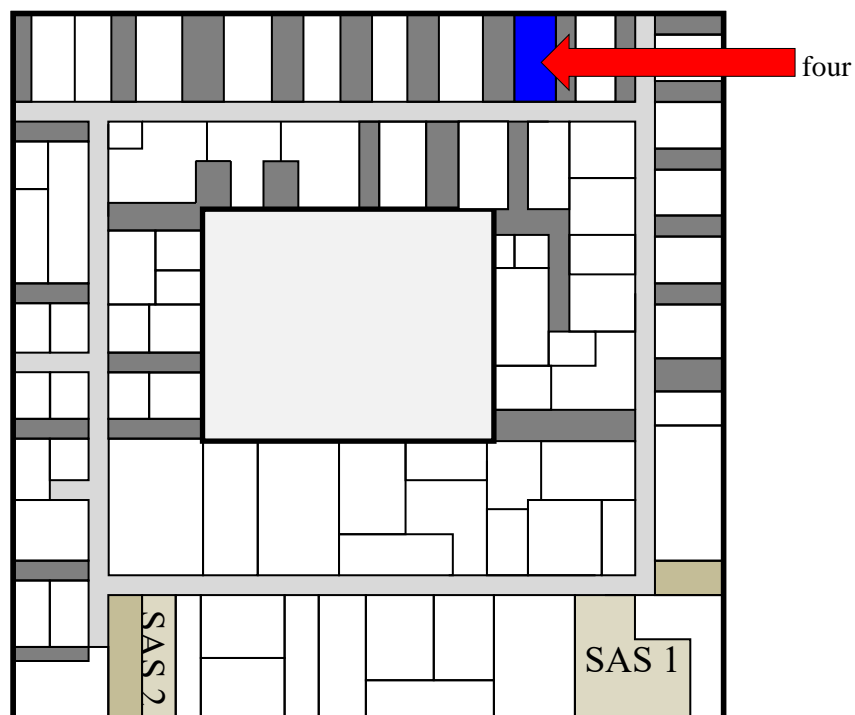


Figure 1 – localisation en salle blanche



3 PRESTATIONS ATTENDUES

La jouvence du four de traitement thermique et d'oxydation du silicium vise à garantir sa pérennité technologique, à fiabiliser ses performances et à le rendre compatible avec les standards actuels de sécurité, de supervision et de traçabilité des procédés.

À ce titre, le titulaire du marché devra assurer une série de prestations techniques couvrant l'ensemble du cycle projet :

- La conception et la validation de l'architecture du contrôle-commande et de la supervision ;
- La fabrication et l'assemblage des éléments du contrôle-commande (racks, API, équipements auxiliaires) ;
- La préparation et la configuration logicielle du système de supervision et de l'interface opérateur ;
- Le raccordement et la mise en conformité des circuits d'exhaust (armoire et process) ;
- L'intégration sur site, incluant les raccordements et ajustements techniques ;
- La remise en service de la fonction de nettoyage automatique ;
- La révision et, le cas échéant, le remplacement des pièces identifiées comme obsolètes ;
- La vérification de l'homogénéité de température des tubes avant et après modification ;
- La mise en service et les essais fonctionnels ;
- La formation des utilisateurs et la remise des documents contractuels.

3.1 Préalable

La modification du système doit être réalisée sur place. Ainsi le titulaire de ce marché devra réaliser les modifications sans déplacer l'équipement.

La fabrication des différentes pièces sera réalisée en usine, mais l'installation de ces différentes pièces ainsi que le câblage et toute autre opération de raccordement devra être réalisée sur place.

3.2 Conception du contrôle-commande et supervision

Le système de contrôle-commande devra permettre un pilotage indépendant et sécurisé de chacun des quatre tubes constituant les deux bâtis existants. Il devra garantir une flexibilité maximale dans la gestion des traitements thermiques, notamment pour les procédés d'oxydation (humide et sèche) et de recuit.

3.2.1 Commande locale et supervision centralisée

Les écrans tactiles existants pourront être réutilisés si leur état et leur compatibilité avec la nouvelle architecture sont jugés satisfaisants. Cette réutilisation devra être explicitement justifiée dans l'offre. En revanche, le PC de supervision devra obligatoirement être remplacé par un modèle récent, performant et compatible avec les exigences logicielles du nouveau système.

3.2.1.1 Commande locale

Chaque tube devra pouvoir être piloté de manière autonome via un écran tactile local. Quatre écrans tactiles distincts devront ainsi être intégrés, chacun associé à un tube, permettant un accès direct aux commandes locales et aux paramètres de fonctionnement pour des interventions rapides et une supervision de proximité.

3.2.1.2 Supervision centralisée

En complément, un poste de supervision centralisé sur PC devra permettre :

- Le contrôle global des quatre tubes ;
- L'accès aux historiques de paramètres ;
- La génération de rapports de manipulation ;
- Le suivi en temps réel de l'ensemble des processus.

Ce poste constituera l'interface principale de gestion, de pilotage multi-tubes et d'archivage des données.

3.2.2 Architecture du contrôle-commande

Ces commandes locales et supervisions centralisée devront communiquer avec un contrôle-commande qui devra être entièrement modernisé au moyen d'un Automate Programmable Industriel (API). Cette évolution vise à assurer un fonctionnement fiable, évolutif et sécurisé du système dans son ensemble.

- Objectifs de la modernisation

- Remplacement des équipements obsolètes par un API moderne et maintenable ;
- Gestion indépendante des 4 tubes avec des cycles de traitement différenciés ;
- Optimisation du contrôle des températures et des flux gazeux ;
- Intégration d'une interface utilisateur ergonomique facilitant la configuration et le suivi des traitements.
- Modules de gestion par tube
 - Contrôle individuel de la température via des boucles PID ;
 - Gestion des vannes et des débits de gaz par électrovannes et débitmètres pilotés ;
 - Commande de la torche pour les traitements par oxydation humide ;
 - Gestion de l'eau de piégeage pour le nettoyage automatique des tubes d'oxydation.
- Interfaces et supervision
 - Développement d'une interface intuitive et conviviale pour le suivi en temps réel des traitements ;
 - Visualisation graphique des courbes de température et archivage automatisé des données de process ;
 - Mise en place de profils utilisateurs différenciés (opérateurs, maintenance, administrateurs) avec accès sécurisé.

3.2.3 Sécurisation :

Le système devra comporter :

- Un système de sécurité (alarmes, seuils critiques, défaillances).
- Un système de reprise automatique après coupure électrique.
- Un système de sauvegarde des données pour assurer la traçabilité.

De plus, la mise en place d'une verrine lumineuse pour signaler l'état des tubes (fonctionnement, repos, incident, alarme) devra être effectuée sur la colonne dans la partie blanche de la salle.

3.3 Fabrication et fourniture du système de contrôle-commande

Le titulaire devra assurer la fabrication, le câblage, et la fourniture de l'ensemble des éléments nécessaires au contrôle-commande du four, à l'exclusion des composants thermiques déjà existants (résistances chauffantes, tubes en quartz, thermocouples).

Cette prestation inclut notamment :

- La conception, fabrication et câblage de racks électriques compatibles avec les bâtis existants ;
- L'intégration des automates programmables industriels (API), modules d'entrée/sortie, alimentations, relais, protections électriques, etc. ;
- Le repérage clair de tous les composants et borniers, ainsi que la fourniture de plans de câblage à jour ;
- La compatibilité des coffrets avec l'environnement salle blanche (propreté, accessibilité, sécurité).
- L'installation d'un thermocouple embarqué sur le chariot de support est exigée pour assurer le suivi des températures lors de la phase de déchargement, dans les tubes de recuit (les deux tubes de droite), où des gradients thermiques critiques peuvent apparaître.

L'ensemble des éléments livrés devra permettre une intégration rapide et sans modification structurelle sur les bâtis existants (cf 2.2 Partie Zone grise Fours Oxydations).

3.4 Supervision logicielle et interface opérateur

Le titulaire devra mettre en œuvre une solution de supervision logicielle centralisée permettant un pilotage fiable et intuitif de l'ensemble des équipements modernisés. Cette supervision devra assurer à la fois le suivi en temps réel, la traçabilité, et l'archivage des données critiques du procédé.

Les exigences minimales sont les suivantes :

- Interface claire et ergonomique permettant de piloter simultanément les quatre tubes depuis un poste unique ;
- Visualisation en temps réel des courbes de température, flux gazeux, états de vannes, alarmes et paliers de traitement ;
- Enregistrement automatique des paramètres de procédé (température, temps, flux, événements de sécurité...);
- Exportation des données sous formats courants (CSV, PDF, etc.) ;

- Archivage sécurisé avec possibilité de consultation ultérieure et de génération de rapports de cycle ;
- Création de profils utilisateurs différenciés avec accès restreint selon les rôles (opérateur, maintenance, administrateur) ;
- Intégration d'un système de journalisation (log) horodaté des opérations critiques et des alarmes ;
- Possibilité d'évolution et de mise à jour du logiciel sur site.

Le logiciel de supervision devra être compatible avec le système d'exploitation du PC neuf fourni, et faire l'objet d'une documentation complète et d'une formation utilisateur (cf. sections 6 Documentation technique et 7 Formation).

3.5 Raccordement et séparation des circuits d'exhaust

Le titulaire devra assurer le raccordement et la mise en conformité des circuits d'exhaust de l'installation, en distinguant clairement les évacuations des gaz provenant :

- des enceintes de process (tubes de traitement thermique) ;
- des armoires techniques (circuits gaz).

Le titulaire devra :

- Identifier les points de captation existants ou à créer sur les bâtis, en distinguant les sources process et les sources techniques ;
- Fournir et poser les conduits d'exhaust nécessaires à la séparation des flux (acier inox, ou autres matériaux compatibles avec la nature des gaz et la température – Voir Partie exhaust page 6) ;
 - Séparer la partie 15 en raccordant à 13 (Voir Partie exhaust page 6)
 - Raccorder les parties 11 (gauche et droite) à 12 (Voir Partie exhaust page 6)
- Raccorder l'ensemble des conduits aux collecteurs d'extraction disponibles dans la salle blanche, en accord avec les contraintes du C2N ;
- Vérifier les débits, étanchéités, et fonctionnement correct de chaque ligne par un test de validation fonctionnelle ;
- Prévoir un repérage clair (couleurs, étiquetage) des lignes d'exhaust armoire et process.

Contraintes spécifiques :

- Tous les raccordements devront être compatibles avec les normes de la salle blanche en matière de sécurité gaz et ventilation ;
- Le chantier devra être coordonné avec les services techniques du C2N pour éviter toute perturbation des circuits existants en exploitation ;
- Les matériaux, colles, joints et équipements utilisés devront être conformes aux normes de résistance chimique et thermique applicables aux gaz utilisés.

3.6 Intégration sur site

Le titulaire devra réaliser l'intégration complète des équipements de contrôle-commande sur les bâtis existants du four. Cette phase comprend les opérations physiques de mise en place, de raccordement et de configuration, dans le respect des contraintes de la salle blanche.

Les prestations attendues comprennent :

- Le montage des racks électriques sur les bâtis en place, sans modification majeure de la structure mécanique ;
- Le raccordement des équipements (API, capteurs, actionneurs, IHM, alimentation, réseau, etc.) aux interfaces existantes ;
- Le repérage, le câblage sur site et la vérification des liaisons électriques et de communication ;
- La coordination avec les équipes techniques du C2N pour organiser les interventions en salle blanche, dans le respect des règles d'accès et de propreté.
- Le raccordement des exhausts (Voir Partie exhaust page 6 - Schéma de modification)

L'ensemble des travaux devra être réalisé avec une attention particulière portée à la qualité des connexions, à la clarté du repérage, et à l'intégration propre dans l'environnement contraint du site.

3.7 Nettoyage automatique

Le titulaire devra assurer le raccordement fonctionnel du système de nettoyage automatique, incluant la fourniture du raccord manquant vers le bulleur contenant la solution de chlore. Un test fonctionnel devra valider ce raccordement.

3.8 Révision et changement des pièces

3.8.1 Hydrox

Le titulaire devra assurer la révision de la pièce dénommée hydrox. Elle permet de réaliser la flamme pour la combustion de l'hydrogène et de l'oxygène, qui est monté sur le tube A1.

C'est une pièce réalisée par AET et avec les références suivantes :

OTS500

N° série : 020163

42V

3.8.2 Débitmètres

Les 12 débitmètres numériques de la marque Horiba Stec modèles SEC-E40 devront être changés en se situant dans la même gamme de débit et être calibré sur le même gaz que celui qu'il remplace

Type de Gaz	Gaz de Calibration	Tube concerné	Gamme de débit
O ₂	O ₂	A1	5 SLM
O ₂	O ₂	A2	10 SLM
N ₂	N ₂	A2	10 SLM
N ₂	N ₂	TLC (A1-A2)	0,5 SLM
N ₂	N ₂	A1	10 SLM
H ₂	H ₂	A1	10 SLM
O ₂	O ₂	B2	10 SLM
N ₂	N ₂	B2	10 SLM
N ₂	N ₂	B1	10 SLM
Ar	Ar	B1	10 SLM
Ar	Ar	B2	10 SLM
Ar:H ₂	N ₂	B2	10 SLM

3.9 Vérification de l'homogénéité de température des tubes

Avant toute intervention, le titulaire devra réaliser une campagne de mesures de l'homogénéité de température sur chacun des quatre tubes afin d'établir l'état initial de l'équipement. Les mesures devront être effectuées aux paliers de 300 °C, 700 °C et 1000 °C.

Après la mise en œuvre du nouveau contrôle-commande et des modifications associées, le titulaire devra réaliser une seconde campagne de mesures identique afin de vérifier que l'homogénéité thermique des tubes a été préservée ou améliorée.

L'objectif est de s'assurer qu'aucune dégradation significative de l'homogénéité thermique n'est introduite par la jouvence du système de contrôle-commande.

3.10 Mise en service

À l'issue de l'intégration, le titulaire devra procéder à la mise en service complète du système sur site, en coordination avec les équipes du C2N.

Les prestations attendues incluent :

- La mise sous tension des équipements et la vérification de l'alimentation de tous les modules ;
- La validation du bon fonctionnement des interfaces homme-machine (IHM), des capteurs, actionneurs et modules de régulation ;

- L'exécution de cycles de test sur chaque tube, selon des scénarios définis avec le C2N, pour vérifier la montée en température, la stabilité des paliers, la traçabilité des paramètres et le comportement des sécurités ;
- La validation de la fonction de nettoyage automatique, avec raccordement au système d'azote et vérification de la ligne de bulleur (cf. section dédiée) ;

4 GARANTIE ET SERVICE APRES-VENTE

Le titulaire devra proposer une garantie couvrant l'ensemble du système de traitement thermique et d'oxydation de silicium.

La garantie devra porter a minima sur une durée de deux (2) ans à compter de la date de réception définitive de l'équipement, et inclure :

- Le remplacement ou la réparation des composants défectueux (API, alimentation, modules I/O, PC, interfaces, etc.) ;
- La correction des dysfonctionnements logiciels affectant la supervision ou les interfaces utilisateur ;
- Le support technique à distance pour les utilisateurs et l'équipe de maintenance du C2N ;
- Les mises à jour logicielles correctives durant la période de garantie.

5 DELAIS DE REALISATION

Le titulaire aura fourni dans son offre un calendrier détaillé, **d'un an maximum** couvrant l'ensemble des étapes du projet, depuis la notification du marché jusqu'à la mise en service complète de l'équipement sur site.

Le planning devra préciser les jalons suivants :

- La conception et la validation de l'architecture du contrôle-commande et de la supervision ;
- La fabrication et l'assemblage des éléments du contrôle-commande (racks, API, équipements auxiliaires) ;
- La préparation et la configuration logicielle du système de supervision et de l'interface opérateur ;
- Le raccordement et la mise en conformité des circuits d'exhaust (armoires et process) ;
- L'intégration sur site, incluant les raccordements et ajustements techniques ;
- La remise en service de la fonction de nettoyage automatique ;
- La révision et, le cas échéant, le remplacement des pièces identifiées comme obsolètes ;
- La vérification de l'homogénéité de température des tubes avant et après modification ;
- La mise en service et les essais fonctionnels ;
- La formation des utilisateurs et la remise des documents contractuels.

Ce calendrier constituera un engagement contractuel. Toute modification de ce calendrier devra être validée au préalable par le C2N.

Un procès-verbal d'installation signé par une personne habilitée par le C2N sera fourni une fois l'ensemble des prestations effectuées.

6 DOCUMENTATION TECHNIQUE

Le titulaire devra fournir un ensemble complet de documents techniques à l'issue de la réalisation des prestations, afin de garantir la traçabilité, la maintenance et la bonne prise en main du système par les équipes du C2N.

Les documents attendus comprennent :

- Les schémas électriques détaillés du nouveau système de contrôle-commande ;
- Les plans PID mis à jour des circuits gaz, vide et sécurité (si modifiés) ;
- Les notices d'utilisation à destination des opérateurs (interface, procédures de lancement, cycles standards, nettoyage, alarmes...) ;

- Les notices de maintenance à destination des techniciens (calibrations, interventions préventives, dépannage) ;
- La nomenclature complète des pièces détachées installées, avec références constructeurs ;
- La liste des logiciels utilisés et leurs versions, avec modalités de mise à jour ;
- Le rapport de validation fonctionnelle et le PV de réception.

Les documents devront être remis au C2N :

- En deux exemplaires papier ;
- En version numérique (PDF + formats natifs si applicables : DWG, DXF, etc.) ;
- En langue française ou, à défaut, en anglais technique compréhensible.

La remise complète et validée de cette documentation conditionne l'admission.

7 FORMATION

Le titulaire devra assurer la formation des utilisateurs à l'exploitation du nouveau système de contrôle-commande, afin de garantir une autonomie complète des opérateurs et des techniciens du C2N dans l'usage courant et la maintenance de l'équipement.

La formation devra inclure :

- L'utilisation de l'interface de supervision : navigation, lancement de cycles, suivi des paramètres, alarmes ;
- Les procédures de mise en marche, d'arrêt, et de nettoyage des tubes ;
- L'interprétation des messages d'alerte et le comportement à adopter en cas d'anomalie ;
- Les opérations de maintenance préventive accessibles aux équipes internes ;
- L'accès aux données archivées, l'exportation des historiques et la lecture des journaux d'événements.

La formation devra être dispensée sur site, après la mise en service complète du système. Elle s'adressera à deux publics distincts :

- Les opérateurs de salle blanche (conduite quotidienne, alarmes, cycles) ;
- Les techniciens de maintenance (paramétrage avancé, dépannage de premier niveau).

Le titulaire remettra les supports pédagogiques au format papier et numérique. Une feuille d'émargement devra être signée par chaque participant et un compte-rendu de formation sera transmis au C2N.

8 TRANSPORT

Le titulaire devra assurer l'ensemble des opérations de transport des éléments à échanger ou à installer, depuis ses locaux jusqu'au site du C2N.

Les pièces à remplacer devront être extraites du site dans le respect des règles de sécurité en vigueur. Le titulaire assurera l'emballage, la manutention et la protection des nouveaux équipements pour garantir leur intégrité jusqu'à leur installation.

L'équipement est actuellement en fonctionnement : son arrêt ne pourra intervenir que sur autorisation expresse du C2N et uniquement lors de la phase finale de l'installation. Le titulaire devra donc organiser ses opérations de transport en tenant compte de cette contrainte.

Les modalités de transfert (moyens, planning, précautions spécifiques) devront être détaillées dans l'offre, ainsi que les garanties et assurances couvrant le transport, la manutention et l'installation du matériel.

9 MODALITES DE RETRAIT LIVRAISON, INSTALLATION

9.1 Date et lieu de livraison

Le matériel objet du présent marché concerne le système de traitement thermique et d'oxydation de silicium. Les nouveaux éléments du système de traitement thermique et d'oxydation de silicium sont destinés à être intégrés aux bâti existant installé dans les salles propres du C2N, situées au rez-de-chaussée haut du bâtiment, 10 Bd Thomas Gobert, 91120 Palaiseau.

L'ensemble des prestations du marché devront impérativement intervenir dans un **délai maximum d'un an à compter de la notification du marché**.

Les livraisons s'effectuent au rez-de-chaussée bas, via la cour logistique du bâtiment. Le déchargement est à la charge du Titulaire, qui devra prévoir les moyens de levage adaptés. Le bâtiment n'étant pas équipé de quai de déchargement, les équipements devront être manipulés avec soin.

Pour accéder au rez-de-chaussée haut, le Titulaire pourra utiliser un monte-charge situé à proximité. Les caractéristiques du monte-charge sont :

- Cabine : $L \times H \times P = 1,80 \text{ m} \times 2,40 \text{ m} \times 2,55 \text{ m}$
- Portes : $L \times H = 1,80 \text{ m} \times 2,40 \text{ m}$
- Charge nominale : 2 500 kg

Les équipements devront ensuite être acheminés via les sas matériels vers les zones d'implantation définies dans la **Section 2** du CCTP. Le transport interne jusqu'à la salle blanche, ainsi que la mise en place dans les bâtis existants, sont à la charge exclusive du titulaire.

Le C2N ne met à disposition aucun matériel de manutention. Le Titulaire devra donc prévoir l'ensemble des moyens nécessaires pour l'acheminement, la protection et l'installation du matériel, y compris les protections des sols et des surfaces sensibles lors des opérations dans les zones classées.

9.2 Installation

L'ensemble du matériel sera installé par le Titulaire dans une salle blanche dont une zone est destinée par équipement qui est en ISO6 et en zone grise.

Les servitudes pour les systèmes de pompage, de refroidissement, les passages des câbles et tuyaux de pompage se trouvent dans la zone grise.

Des plans des salles avec cotations sont fournis en **Section 2**.

Le titulaire devra s'assurer que la longueur des câbles reliant les différents éléments de chaque équipement est suffisante pour l'installation de l'équipement au C2N.

De l'air comprimé (≤ 8 bars) ainsi que de l'azote (≤ 6 bars) et les différents gaz sont ou seront disponibles dans les salles de servitude. Le Titulaire fournira, préalablement à la livraison, la liste des besoins nécessaires pour prévoir des modifications éventuelles à la charge du C2N.

La salle prévue pour le four possède les caractéristiques suivantes :

Température : $21 \pm 1.0^\circ\text{C}$

Hygrométrie : 40 à 60%HR

Visites de pré-installation

Lors de la visite de pré-installation dont la date sera définie en accord avec le C2N, le titulaire fera les contrôles nécessaires afin de vérifier que les locaux destinés à accueillir les équipements sont adaptés et conformes aux prescriptions indiquées dans le document de pré-installation fourni avec l'offre (surfaces au sol, fluides d'alimentation, raccordements aux fluides et à l'électricité ...).

Si des mesures correctives sont nécessaires à l'installation et au bon fonctionnement des appareils, le titulaire fera des propositions indiquant les moyens qui lui paraîtront les plus adaptés afin de corriger et mettre en conformité les salles. Ces mesures seront prises en charge par le C2N.

9.3 Règles de travail en salles propres

Les locaux concernés sont des locaux de type « salle propre » ; tous les travaux doivent donc être réalisés en respectant le protocole suivant :

- Port d'une tenue vestimentaire adaptée au travail en salle propre (blouses, sur-chausses et gants de salle propre seront fournis par le C2N)
- Aspiration à la source de toutes les poussières générées (perçage, découpe par exemple). Les moyens d'aspirations seront fournis par le C2N.

9.4 Mesures de sécurité / respect de la législation en vigueur

Afin d'assurer l'application de la législation en vigueur quant aux normes de sécurité, un plan de prévention Hygiène et Sécurité sera défini, préalablement à la livraison des équipements. Il sera rédigé par le CNRS C2N en collaboration avec un représentant dûment habilité du Titulaire.

Ce plan de prévention sera ensuite validé par un représentant dûment habilité du C2N.

Le plan de prévention précisera notamment les procédures à suivre par le personnel du Titulaire en cas de survenance d'un incident ou d'un accident, les différentes sorties de secours pouvant être empruntées pendant chacune des phases de transfert, les protections devant être portées par le personnel du Titulaire, etc. ...