

DELEGATION REGIONALE ILE-DE-FRANCE MEUDON

UNITE : *LABORATOIRE TEMPS ESPACE_UMR8255*



MARCHE PUBLIC DE PRESTATIONS INTELLECTUELLES

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES

**Objet : DEVELOPPEMENT DE PROCEDE INDUSTRIEL MICROELECTRONIQUE
DE FABRICATION EN MASSE DE PUCES A ATOMES FROIDS, INCLUANT LA
CONCEPTION DE LA LIGNE DE PRODUCTION AUTOMATISEE ET LE
DEVELOPPEMENT DE LOGICIEL (S) ASSOCIE (S)**

CCTP N°2026-03

Ce document comporte 10 pages, y compris la page de garde.

SOMMAIRE

1 PRÉAMBULE	3
2 LEXIQUE	3
3 PRÉSENTATION DE LA PRESTATION	3
3.1 CONTEXTE GÉNÉRAL DE L'ACHAT	3
3.2 OBJET DU MARCHÉ.....	3
4 DESCRIPTION DES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES ET TECHNIQUES.....	5
5 DÉLAI /REUNIONS/LIVRAISON	7
5.1 PHASES DE RÉALISATION DES PRESTATIONS / CALENDRIER.....	7
5.2 CORRESPONDANCES – RÉUNIONS	8
5.3 CORRESPONDANTS TECHNIQUES DU CNRS	9
5.4 LIEUX DE LIVRAISON OU D'EXÉCUTION / ACCÈS	9
6 DOCUMENTATION/LIVRABLES À PRODUIRE PAR LE TITULAIRE	10
7 DÉVELOPPEMENT DURABLE	11

1 Préambule

Le Titulaire prend l'engagement qu'il est en mesure d'exécuter ce marché dans le strict respect des obligations visées dans les documents contractuels du marché et ce, notamment, en matière de clauses de confidentialité, de qualification et d'assurances.

Le Titulaire est réputé, sous sa responsabilité et indépendamment de toutes justifications fournies, avoir reçu les autorisations légales d'exercer et posséder la qualification professionnelle correspondant à la nature et à l'importance de la prestation objet du présent marché. Il sera seul à supporter les conséquences qui pourraient résulter du fait que cette qualification ne serait pas conforme à la réglementation ou erronée et, en particulier, les conséquences de la résiliation que pourrait prononcer de ce fait, à bon droit, le CNRS.

2 Lexique

Service prescripteur : Demandeur d'achat qui dispose des compétences/connaissances techniques et qui est chargé de la définition du besoin.

Acheteur : Est le pouvoir adjudicateur ou l'entité adjudicatrice qui conclut le marché avec le Titulaire

Titulaire : Est l'opérateur économique qui conclut le marché avec l'acheteur

Phase : ensemble cohérent de prestations constituant une étape du besoin objet du marché

3 Présentation de la prestation

3.1 Contexte général de l'achat

L'achat intervient dans le cadre du projet Q-PLANET, financé dans par le programme HORIZON-JU-Chips-FPA-QAC-1 ayant comme objectif la mise en place d'une infrastructure européenne conçue pour permettre la production industrielle de composants à base de puces destinés à alimenter des technologies quantiques à atomes neutres évolutives, fiables et compactes. Plus particulièrement, l'achat vise la fabrication en masse de microcircuits ou puce à atomes neutres pour le développement de cette ligne pilote quantique.

Avec ce programme, la Commission Européenne souhaite répondre à des objectifs clés tels que le renforcement de la souveraineté technologique, la garantie de la résilience des chaînes d'approvisionnement et le positionnement de l'Europe en tant que leader dans le domaine des technologies quantiques avancées.

3.2 Objet du marché

Le présent marché a pour objet le développement d'un schéma de procédé (process flow) de fabrication micro-électronique pour la production en masse (à échelle industrielle) de puces ou micro-circuits à atomes froids comprenant :

- La reproduction et l'adaptation dans les installations du Titulaire du procédé de fabrication développé par le Laboratoire Temps et Espace (LTE), avec livraison de composants de validation à chaque phase de réalisation. Le Titulaire devra Proposer des solutions aux

problèmes rencontrés lors de la reproduction du procédé existant ;

NB : *Le procédé de fabrication développé par le Laboratoire Temps et Espace (LTE) fait l'objet de mesures de confidentialité et n'est pas intégré au présent CCTP. L'accès aux éléments techniques le décrivant est subordonné à la signature préalable par le Titulaire d'un engagement de confidentialité, selon les modalités fixées dans le Règlement de Consultation.*

- L'élaboration d'un procédé compatible avec la production en masse de puces, ainsi que les mécanismes, méthode et solutions pour l'installation d'une ligne de production industrielle.
- La conception et la mise en place d'une ligne de production automatisée à échelle préindustrielle ;
- Le développement des outils logiciels d'automatisation et de caractérisation associés au procédé.

Le marché s'inscrit dans le cadre du projet européen Q-PLANET et prend comme point de départ un procédé complet développé par le L.T.E, mis à disposition du Titulaire afin de réduire les coûts de développement.

Le marché prend la forme d'un Accord-cadre mono-attributaire et s'exécute par l'émission de bons de commande et des marchés subséquents au fur et à mesure de la survenance des besoins en application des dispositions des articles L. 2125-1, R. 2162-1 à R. 2162-14- du Code de la commande publique.

❖ **Prestations exécutées au moyen de bons de commande :**

- Reproduction et adaptation dans les installations du Titulaire du procédé développé par le L.T.E **(Phase 1)**
- Mise à l'échelle du Procédé, qui permettra d'ajuster le procédé utilisé en phase 1 de manière à fabriquer 4 puces en parallèle **(Phase 2)**

❖ **Prestations exécutées au moyen de marché subséquent :**

- Pré-industrialisation et automatisation de la ligne : Le Titulaire optimise le procédé validé en phase 2 afin de porter la production à plus de 20 puces, et conçoit une ligne de production intégrant le plus haut niveau d'automatisation possible, en vue du passage à une échelle préindustrielle **(Phase 3)**
- Développement d'outil(s) logiciel(s) de caractérisation et d'autonomisation **(Phase 4)**

Les spécifications techniques figurant dans le présent CCTP sont complétées par une description détaillée qui sera définie conjointement avec le Titulaire lors de la passation du marché subséquent concerné.

4 Description des Spécifications générales et techniques

Le schéma de procédé proposé par le Titulaire devra remplir les fonctionnalités et exigences minimales suivantes :

A) Principales spécifications techniques

- 1- Capacité de fabrication de micro-fils, micro-circuits, composants active et passif RF et hyper-fréquence sur substrat de nitrure d'aluminium (AlN) et silicium (Si) par métallisation d'or via évaporation et électrodéposition.
- 2- Epaisseur minimale de la métallisation (hauteur de micro-fils et motifs assimilés) : 3 micromètres
- 3- Rugosité résiduelle rms sur le flanc vertical/paroi de micro-fils et motifs assimilés : inférieure à 50 nanomètres sur toute la surface du micro-circuit
- 4- Qualité de la planéité de la métallisation limité à la planéité du substrat, pour un rapport d'aspect largeur:hauteur des micro-fils la gamme : 3:3 – 1000:3
- 5- Faire la démonstration de la fabrication d'une puce fonctionnelle à partir des équipements du prestataire, et à partir du schéma de procédé micro-électronique développé et déjà exploité par le LTE
- 6- Proposer une montée en cadence jusqu'à 3 puces ou micro-circuits à atomes par semaine, pour une production annuelle minimale d'environ 100 unités fonctionnelles
- 7- Développer des innovations permettant d'améliorer la robustesse de la fabrication ou les performances des puces ou micro-circuits à atomes
- 8- Être en capacité d'intégrer des améliorations du processus de fabrication directement sur la ligne de production
- 9- Développer de techniques et méthodes de contrôle de qualité pour une caractérisation standardisée de l'évaluation de la qualité du schéma de procédé, ayant une approche industrielle assurant la répétabilité des tests et la fabrication de puces ou micro-circuits à atomes

10- Les techniques et méthodes de contrôle de qualité doivent être les plus automatisées possible, en particulier pour les tests de propriétés électriques attendues de composants fabriqués

11-Outil de caractérisation :

Outil	Fonctionnalité	Performance minimale attendue
Profilomètre ou scanner optique à balayage	Mesure simple de profil de micro-fils, inspection de la qualité de surfaces (identification de défauts, dépôts résiduels, rugosité, planéité), contrôle géométrique 3D haute précision	-Résolution micrométrique dans le plan horizontal et nanométrique dans le plan vertical -Large plage de mesure (supérieure à 500 x 500 mm)
Résistivimètre	Mesure de résistivité à 4 pointes	-Support de substrats de 4 pouces - Haute précision et répétabilité -Gamme de résistance de surface de $10\mu\Omega/\text{sq}$ à $10\text{G}\Omega/\text{sq}$
Réfectomètre/Analyseur de Shack Hartmann	Mesure de la réflectance de surfaces	-Support de substrats de 4 pouces -Mesures avec une erreur de front d'onde de l'ordre de $\lambda/100$ RMS dans NIR (780 nm)

5 Délai /Reunions/Livraison

5.1 Phases de réalisation des prestations / Calendrier

Phases / Evénements	Délai maximum de réalisation (mois)
PHASE 1 : REPRODUCTION ET ADAPTATION DU PROCEDE	
Mise en place de la lithographie	T0 +2
Métallisation	T0 +3
Fabrication du miroir	T0 +3
PHASE 2 : MISE A L'ECHELLE DU PROCEDE	
Passage à l'échelle de la lithographie pour plusieurs puces	T0 +6
Passage à l'échelle de la métallisation pour plusieurs puces	T0 +8
Passage à l'échelle de la fabrication du miroir pour plusieurs puces	T0 +8
PHASE 3 : PREINDUSTRIALISATION ET AUTOMATISATION DE LA LIGNE	
Optimisation du passage à l'échelle de la lithographie pour fabriquer +20 puces –	T0+12
Optimisation du passage à l'échelle de la métallisation pour fabriquer +20 puces	T0+12
Optimisation du passage à l'échelle de la fabrication du miroir pour fabriquer +20 puces	T0+12
Etude et conception de ligne automatisée de production en masse	T0+15
Définition des équipements et matériel nécessaire à la ligne de production, estimation de leur coûts	T0+17

PHASE 4 : DEVELOPPEMENT D'UN OUTIL LOGICIEL	T0+24
--	-------

5.2 Correspondances – Réunions

Une réunion de lancement sera fixée d'un commun accord entre le CNRS et le ou les Responsable(s) projet du Titulaire et doit se dérouler dans un délai de quinze (15) jours au maximum après la notification de l'Accord- cadre.

Dans le cadre de la réalisation des prestations il est institué des réunions pour suivre la bonne exécution des prestations. Ces réunions de suivi auront lieu périodiquement toutes les deux semaines, sauf en période de vacances. Pour les réunions avec des échéances d'évaluation importantes, le calendrier ci-dessous est proposé. Ces réunions sont programmées aux échéances définies par le CNRS.

A titre indicatif, le calendrier des réunions de périodes intermédiaires est défini dans le tableau ci-dessous :

	ETAPES	MOYEN /LIEU	PERIODE
Réunion de démarrage	Lancement de la prestation	Locaux du prestataire	T0
Réunion d'avancement	Vérification finale de la disponibilité de ressources et équipements pour l'installation du procédé du laboratoire chez le prestataire	Locaux du prestataire	T0+1 semaine
Réunion d'avancement	Point sur la mise en place de la lithographie – phase 1	Locaux du prestataire	T0+3 semaines
Réunion d'avancement	Evaluation de résultats de la phase 1, présentation de risques et verrous à lever avant de passer à la phase 2	LTE	T0+4 mois
Réunion d'avancement	Evaluation de	Locaux du prestataire	T0+9 mois

	résultats de la phase 2, Présentation de risques et verrous à lever avant d passer à 3		
Réunion d'avancement	Evaluation de résultats de la phase 3	LTE	T0+13 mois
Réunion d'avancement	Evaluation de la pré-industrialisation du procédé	Locaux du prestataire	T0+17 mois

Pour les réunions de suivi, le Titulaire présentera à minima les actions réalisées, les actions en cours ; les risques apparus ainsi que les points bloquants rencontrés ainsi que la suite du déroulement de l'exécution.

Un compte rendu est rédigé et transmis au représentant du CNRS, au plus tard 7 jours après chaque réunion.

Ces réunions peuvent convoquées en tant que de besoin de par le CNRS ou le Titulaire.

Les frais de déplacement engagés par le CNRS dans le cadre des réunions se tenant dans les locaux du Titulaire sont pris en charge par le CNRS.

5.3 Correspondants Techniques du CNRS

Dans le cadre de l'exécution des prestations objet du marché, le CNRS a désigné un correspondant technique chargé du suivi de l'exécution du marché. Le nom et les coordonnées de ce correspondant seront transmises au Titulaire du marché dès la notification du marché.

5.4 Lieux de livraison ou d'exécution / Accès

Les puces/microcircuits devront répondre à la qualité attendue et spécifiée par le LTE. Ils seront livrés à chaque phase et constituent des livrables de validation du procédé et non la finalité principale du marché.

PHASE 1- REPRODUCTION ET ADAPTATION DU PROCEDE	Livraison d'au moins 1 composant (puce/micro-circuit)
PHASE 2- MISE A L'ECHELLE DU PROCEDE	Livraison d'au moins 4 puces
PHASE 3- PREINDUSTRIALISATION ET AUTOMATISATION DE LA LIGNE	Livraison de +20 puces attendue

La livraison de micro-circuits/puces sera à réaliser à l'adresse suivante :
Laboratoire Temps Espace, Observatoire de Paris
61 avenue de l'Observatoire
75014 Paris

La livraison du procédé de fabrication quant à lui sera vérifiée/validée dans les locaux du prestataire via les installations d'équipements mises en place, leur état de marche, et la démonstration de leur fonctionnement en conditions réelles.

6 Documentation/livrables à produire par le Titulaire

Le Titulaire s'engage à fournir toute la documentation nécessaire à une reproduction du schéma de procédé micro-électronique, garantissant une fabrication en masse fiable de puces ou micro-circuits à atomes et ses composants associés/constitutifs ainsi que les documents listés ci-dessous.

Les livrables documentaires (L1, L2, L3) consolident et formalisent l'ensemble des activités réalisées au cours de chaque phase, telles que décrites à l'article 5.2. Leur date de remise intègre le délai nécessaire à la rédaction et à la finalisation du rapport postérieurement à l'achèvement des activités techniques de la phase concernée.

LIVRABLE	CONTENU MINIMAL	FORMAT	PERIODE (en mois)
L1	Installation du procédé de fabrication développé par le laboratoire	Rapport	T0+4
L2	Procédé de fabrication de puces compatible avec une production en masse	Rapport	T0+12
L3	Techniques et méthodes de contrôle de qualité mises en place pour une caractérisation standardisée de la qualité du schéma de procédé, assurant la répétabilité des tests et de la fabrication	Rapport	T0+18
L4	Logiciel (s conçu(s) pour l'automatisation du procédé de fabrication et la caractérisation des puces produites à grande échelle	Logiciel	T0+24

7 Développement durable

Le Titulaire veille à ce que les prestations qu'il effectue respectent les prescriptions législatives et réglementaires en vigueur en matière d'environnement, de sécurité et de santé des personnes, et de préservation du voisinage.

Conformément à l'article L.2112-2 du Code de la commande publique, le Titulaire s'engage à respecter les conditions d'exécution en vue de la protection de l'environnement.

Le Titulaire fait ses meilleurs efforts pour réduire l'impact écologique des prestations fournies au titre du marché, notamment :

- En traitant les déchets liés à la fabrication, au conditionnement et au transport des matériels pour en réduire les impacts écologiques négatifs ;
- En proposant des matériels économes en énergie et / ou en fluides ;
- En proposant des matériels constitués de matériaux recyclables ;
- En proposant des moyens de transport respectueux de l'environnement.

FIN DU DOCUMENT