

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES



Acquisition d'équipements scientifiques (CPER MAT & TRANS PHASE 5)

Fourniture d'une chambre de dépôt de couches minces sous vide par ablation laser pulsé (PLD)

Cahier des Clauses Techniques Particulières

VERSION en date du 19/12/2025

Objet du marché :

Cet appel d'offres porte sur la fourniture, la livraison, l'installation et la mise en service d'une chambre de dépôt par ablation laser destinée au dépôt sous vide de couches minces. La chambre sera fournie équipée notamment des éléments suivants : un ensemble de pompage, un ensemble porte-échantillons chauffant, un ensemble porte-cibles, des capteurs pour mesurer et réguler les paramètres de dépôt tels que pression et température, et un système de pilotage informatique dédié.

Le laser excimère utilisé est déjà présent au laboratoire et ne fait pas l'objet de cet appel d'offres.

Contact:

Maryline Guilloux-Viry ; maryline.guilloux-viry@univ-rennes.fr ;

☎ 02 23 23 56 55

1. Présentation du projet

Cet équipement s'inscrit dans le projet CPER Mat&Trans (Contrat de Projet Etat-Région Matériaux pour les transitions et le développement durable), dans un contexte de recherche sur les oxydes fonctionnels en couches minces, et leur ingénierie de croissance, tels que les projets ANR actuels TILPAC, FastPHASE, DistCovery, ... Ces travaux de recherche contribuent à développer des matériaux fonctionnels en vue de leur intégration dans des dispositifs de microélectronique, MEMS, capteurs, optique, etc. notamment pour la conversion d'énergie, et des dispositifs plus éco-responsables. Dans ce contexte, l'équipement recherché est un outil clé pour innover dans les matériaux avancés, améliorer les performances des dispositifs, et répondre à des besoins techniques pointus.

L'Institut des Sciences Chimiques de Rennes (ISCR) UMR CNRS 6226, en particulier l'équipe CSM (Chimie du Solide et Matériaux) possède une forte expérience en préparation et caractérisation de couches minces et multicouches, en particulier d'oxydes, épitaxiés, élaborés par ablation laser pulsé (PLD). Les couches minces sont cristallisées *in situ*, c'est-à-dire sous une atmosphère et à une température de substrat adaptées à la cristallisation des films minces d'oxydes céramiques (Références 1-5 en annexe).

Différents oxydes fonctionnels sont étudiés, tels que des niobates - tantalates d'alcalins, sodium-potassium (KNN, KTN), de bismuth (SBN, SBT), des manganites, des oxydes binaires CeO_2 , TiO_2 , MgO , Al_2O_3 , des stannates, vanadates, titanates (SrTiO_3 , ...), etc.

Le présent marché porte sur l'acquisition d'une chambre de dépôt sous vide de couches minces par ablation laser, neuve et moderne, permettant le dépôt de couches minces d'oxydes épitaxiés, tels que les matériaux cités ci-dessus. Cette enceinte de dépôt, nommée par la suite « chambre PLD » sera associée à un laser excimère déjà présent au laboratoire.

Cette chambre PLD rejoindra le « **plateau de recherche interdisciplinaire ChemPhys de dépôts de couches minces par ablation laser pulsé (PLD)** » localisé salle 058 Bâtiment 10A campus de Beaulieu à Rennes, dans l'ISCR. L'équipement sera utilisé par une équipe d'une dizaine de chercheurs, ingénieurs, doctorants, de formation en sciences des matériaux.

L'équipement devra s'intégrer à la configuration existante notamment en respectant la direction d'entrée du faisceau laser (la position du laser étant définie), et l'encombrement de la salle. Le poids de l'équipement et toutes les dimensions devront être clairement précisés.

Une attention particulière sera portée aux éléments suivants : mouvements de déplacements précis de la cible et du substrat, système de chauffage du substrat, automatisation des paramètres de dépôt et simplicité de mise en œuvre, et à tout élément permettant de juger de la fiabilité et de la robustesse de l'équipement.

L'ensemble du matériel devra être neuf et issu de développement récent des équipements dans le domaine. Les candidats devront fournir dans l'offre des informations démontrant leur expertise en PLD.

Une documentation technique précisant les conditions d'installation et de mise en service (« guide de pré-installation ») sera fournie dans l'offre.

Le laboratoire sera attentif à minimiser l'ensemble des coûts de fonctionnement et de maintenance de l'équipement.

L'équipement susmentionné devra comprendre les différents systèmes listés ci-dessous et répondre aux exigences fonctionnelles et techniques exposées dans ce document.
Il devra être évolutif, notamment en prévoyant des ports supplémentaires (brides) disponibles pour intégrer de nouvelles fonctionnalités.

Des variantes alternatives peuvent être proposées par les candidats.

2. Caractéristiques techniques attendues

L'équipement proposé devra présenter *a minima* les caractéristiques énoncées dans les paragraphes suivants. Les caractéristiques techniques des solutions proposées devront être décrites de façon précise et détaillée.

2.1. Chambre de dépôt

A- Description générale de la chambre de dépôt

La chambre de dépôt, conçue en **acier inoxydable compatible ultra-vide (UHV)**, et avec une atmosphère partielle d'oxygène selon les pressions indiquées dans la suite, pourra adopter une forme **sphérique ou cylindrique**. Elle sera équipée des systèmes suivants :

- **Pompage**
- **Injection et régulation de gaz**
- **Porte-échantillons (ou porte-substrats) chauffant**, fonctionnant sous atmosphère d'oxygène
- **Porte-cibles pour 4 cibles**

Vide limite attendu : dans la gamme basse de **10⁻⁷ mbar (10⁻⁵ Pa)**.

La chambre sera livrée et installée avec un **châssis métallique** muni de **4 roulettes pivotantes et patins d'appui permettant de la déplacer aisément si besoin**.

Dimensions : L'ensemble de l'équipement (incluant pilotage, gaz, etc...) devra s'adapter à l'espace disponible (voir annexe figures 1).

B- Documentation et maintenance

Le fournisseur devra fournir toutes les informations nécessaires pour évaluer :

- **Les performances** de l'équipement et de ses accessoires
- **La durée de vie** des composants
- **Les opérations et coûts de maintenance** à prévoir
- **La facilité d'utilisation**

C- Spécifications techniques détaillées

L'enceinte devra comporter en particulier :

Élément	Description
Porte d'accès rapide	Permet un changement manuel facile des porte-cibles, porte-substrats et autres éléments fréquemment retirés.

Bride - Hublot d'entrée du faisceau laser	Positionné verticalement, angle vis-à-vis de l'axe cible-substrat adapté aux expériences de dépôt par PLD (45°) ; montage du hublot avec joint d'étanchéité viton pour démontage fréquent (voir annexe figures 2-3-4)
Hauteur du hublot	Centre du hublot à 120 cm \pm 2 cm du sol (voir annexe figure 3)
Position de la cible	Face au substrat
Axe cible-substrat	Horizontal, selon la configuration illustrée en annexe, figure 5
Grande fenêtre d'observation	Offre une vue directe sur la chambre, notamment pendant les expériences. Installée sur une bride de grande dimension pour permettre un accès aisé dans l'enceinte (pour installation d'accessoires et/ou maintenance)
Géométrie de l'enceinte et brides (ou « ports ») déjà positionnées	Conçues pour l'installation future d'un système de caractérisation par RHEED. Un hublot en verre sera installé sur la bride prévue pour l'installation future de l'écran RHEED (diamètre au standard d'un écran RHEED, ~ 100 mm).
Port pour pyromètre laser	Nécessite une visée directe sur la surface du substrat pour mesurer sa température. Une position optimale devra être proposée. La position de ce port dans l'enceinte actuellement utilisée au laboratoire n'est pas satisfaisante.
Ports supplémentaires	Prévus pour les évolutions futures de l'enceinte. Le nombre et les dimensions seront discutées pendant la phase de conception.

Les hublots et fenêtres disponibles sur l'enceinte devront permettre le réglage visuel du substrat par rapport à la plume de dépôt (positions verticale et latérale).

D- Connexion et régulation de pression

- La **pompe turbomoléculaire** sera connectée à l'enceinte principale via un **T (ou coude) existant** au laboratoire, permettant le couplage avec une petite enceinte de dépôt existante (voir annexe, figure 6).
- Une **vanne manuelle** sera fournie pour la connexion entre la chambre principale et le T (photo et dimensions du T en annexe, figure 7).
- Un **by-pass avec vanne manuelle** sera ajouté pour contrôler la pression de travail.

2.2. Système de pompage

L'ensemble du système de pompage doit être clairement décrit. Les pompes doivent être conçues pour les pressions recherchées (voir §2.2 C-) et compatibles avec une atmosphère d'oxygène ; leur marque sera précisée.

A- Composition du groupe de pompage :

- **Pompes :**
 - Une pompe primaire propre (pompe sèche)

- Une pompe secondaire de type turbomoléculaire

B- Modalités de fonctionnement à préciser :

- Vitesse de pompage
- Refroidissement
- Différents modes de fonctionnement disponibles

C- Performances et pressions visées :

- **Pression de base** : de l'ordre de 10^{-7} mbar (10^{-5} Pa)
- **Temps de pompage** : à indiquer pour atteindre 10^{-6} mbar (10^{-4} Pa)
- **Pression de travail (oxygène) régulée pendant le dépôt** :
 - Gamme : 10^{-2} à 4×10^{-1} mbar (1 à 40 Pa) (Valeur classiquement utilisée : 3×10^{-1} mbar (30 Pa))

D- Contraintes après dépôt :

- **Remise en pression rapide** pour refroidissement ou recuit *in situ* :
 - Jusqu'à environ 200 mbar (2×10^4 Pa) (oxygène ou azote)

E- Circuit de gaz et vannes compatibles avec une remise à pression atmosphérique sous air et sous azote

2.3. Mesure et régulation de pression

L'enceinte devra être munie :

- Des jauges de mesure de pression nécessaires et adaptées à la gamme de pression visée
- D'une jauge capacitive pour la régulation de pression pendant le dépôt

2.4. Injection de gaz et régulation de pression

Le système de commande des gaz fourni doit être clairement décrit. Il doit permettre en particulier les fonctionnalités suivantes :

Fonctionnalité	Détails
Contrôle de la pression d'oxygène	Pendant les dépôts : gamme 10^{-2} – 4×10^{-1} mbar (valeur courante : 0,3 mbar)
Augmentation rapide de pression	Jusqu'à 100–200 mbar d'oxygène pour refroidissement ou recuit <i>in situ</i> Indiquer le temps nécessaire pour augmenter la pression
Purge de l'enceinte	Oxygène ou azote
Remise à pression atmosphérique	Rapide, sous azote ou sous air

Tous les éléments d'électronique, d'alimentation, de connectique et de câblage destinés au fonctionnement des pompes, des vannes et des jauges seront fournis.

2.5. Régulation et Contrôle de la pression de travail

Les vannes, circuit de pompage, appareils de mesure, injection de gaz, etc... doivent permettre une régulation aisée de la pression de travail.

Les caractéristiques techniques des solutions proposées pour contrôler et réguler la pression seront décrites. Eventuellement, un contrôle possible par pilotage automatique informatique peut être proposé

2.6. Manipulateur porte-cibles

A- Description générale :

- **Type** : « Carrousel » multi-cibles (4 positions)
- **Fonction** : Dépôt *in situ* de jusqu'à 4 matériaux différents, sans rupture de vide
- **Protection** : Système anti-contamination pour les cibles non utilisées
- **Sélection de la cible utilisée** : manuelle ou motorisée
- **Support des cibles (porte-cibles) amovibles** : Mise en place individuelle des porte-cibles, par la porte d'accès rapide, simple et rapide ; la mise en place et le retrait des porte-cibles doit être décrite.

B- Caractéristiques des cibles :

- **Dimensions** :
 - Diamètre : 25 mm
 - Épaisseur : 3–4 mm en standard (gamme complète de l'épaisseur de cible utilisable : 0,5–4,5 mm)
- **Mise en place sur le porte-cible** : par collage à l'extérieur de l'enceinte

C- Compatibilités :

- Préférence pour un manipulateur porte-cible compatible avec le modèle de porte-cible actuel du laboratoire (voir photo en annexe, figure 8)

D- Améliorations recherchées :

L'**objectif** est d'augmenter la surface de cible ablatée par le faisceau laser. Actuellement, les cibles ne possèdent qu'un mouvement de rotation continue (spinning). Une(des) solution(s) innovante(s), pilotée(s) par logiciel, pour **améliorer la surface ablatée** tout en conservant une position fixe de la plume laser est (sont) attendue(s).

- **Gammes de mouvements** : À préciser (directions du mouvement, vitesse, amplitude)

E- Fournitures associées :

- **Électronique, alimentation, connectique et câblage** : Inclus

2.7. Porte-substrat et système de chauffage

A. Fixation et préparation des substrats

- **Fixation** : Rapide, par collage à la laque d'argent (ou autre matériau conducteur), réalisée à l'extérieur de l'enceinte
- **Compatibilité thermique du porte-substrat** : Maintien en étuve sous air (80–150 °C, 1h à 17h) et/ou plaque chauffante à l'air (température minimale : 150 °C, durée à préciser)

B. Procédure de manipulation

La **procédure de mise en place et de retrait** du porte-substrat de l'enceinte doit être clairement décrite.

C. Porte-substrat de dimensions adaptées à celles des substrats

- **Taille standard des substrats utilisés** : 5 mm × 5 mm à 15 mm × 20 mm
- **Compatibilité avec substrats plus grands**, Ø 1 pouce (25,4 mm) ou 20 mm × 20 mm, appréciée

D. Chauffage des substrats

- **Température maximale** accessible en routine : 850 °C (substrat fixé à la laque d'argent), sous atmosphère d'oxygène, avant, pendant et après dépôt (refroidissement, recuits *in situ*, tel que décrit au § 2.4).
- **Élément chauffant (description détaillée attendue) :**
 - Technologie, matériaux
 - Paramètres limites : Atmosphère (nature et pression du gaz), Vitesse de chauffage et de refroidissement (maximales et recommandées pour la durée de vie), vitesse d'augmentation de la pression d'oxygène en fin de dépôt recommandée en routine, toute autre information utile pour préserver la durée de vie

E. Homogénéité thermique

- Homogénéité et taille de la zone homogène du substrat à préciser (**Zone homogène minimale attendue** : 12 mm × 12 mm)

F. Durée de vie de l'élément chauffant et du porte-substrat - maintenance

- **Données à fournir :**
 - Durée de vie estimée (pour des utilisations dans des conditions similaires à celles recherchées)
 - Coût et modalités de maintenance

G- Fourniture :

Un jeu de porte-échantillons pour préparer au moins deux expériences successives le même jour est demandé.

2.8. Automatisation et supervision par ordinateur

A- Fourniture

Ensemble adapté au bon fonctionnement du pilotage du dépôt de films minces, comprenant :

- un ordinateur fonctionnant sous windows 11 (incluant écran, clavier, souris)
- tous les accessoires nécessaires à l'automatisation, les ports de communication et câbles nécessaires,
- le logiciel permettant le contrôle et le pilotage du système de dépôt
- La liste des paramètres du process de dépôt contrôlés
- les principales étapes du process complet automatisées

B- Sécurité, mise à jour, maintenance

- Les éléments liés à la sécurité seront décrits (gestion du pompage, mise à l'air, coupure d'électricité, chauffage du substrat, laser, etc).
- Les conditions de mise à jour et de maintenance du logiciel d'automatisation au cours des prochaines années seront fournies.

3. Conception, livraison et installation

Conception : La méthodologie et la durée de la conception du système seront développées dans la réponse à l'appel d'offre.

Pendant la phase de conception des réunions en visio-conférences, ou en présentiel au laboratoire, seront organisées pour valider la conception retenue pour chaque partie du système et le plan final.

Toutes les informations et dimensions permettant de juger de l'encombrement du système et de l'ensemble de ses accessoires seront fournies et devront être validées au cours de la conception.

Un plan d'implantation schématique du système dans la salle du laboratoire est fourni en annexe (figures 1).

Le laboratoire pourra répondre à toute question des candidats sur ce sujet durant la phase de conception.

Une visite au laboratoire pourra également être organisée sur demande du fournisseur au cours de la phase de conception et de fabrication.

Livraison : les délais de livraison et installation des différents matériels seront indiqués dans l'offre.

La livraison devra avoir lieu avant le 25/11/2026

La date de livraison sur site sera fixée en accord avec l'acheteur.

Les fournitures seront livrées à destination franco de port. Le transport s'effectuera sous la responsabilité du titulaire du marché jusqu'au lieu de livraison spécifié ci-après.

Le conditionnement, le chargement, l'arrimage, le déchargement et le déballage seront effectués sous sa responsabilité.

L'équipement sera livré et installé dans les locaux de l'Université de Rennes, à l'Institut des Sciences Chimiques de Rennes, dont l'adresse postale est la suivante :

Institut des Sciences Chimiques de Rennes
Université de Rennes
Campus Beaulieu - Bâtiment 10A
263 avenue du Général Leclerc
35042 Rennes CEDEX
France

Installation : Le titulaire du marché assurera l'intégralité de l'installation, des raccordements et la mise en service du matériel.

Devront être indiqués dans l'offre :

- les éléments techniques nécessaires à la préparation de l'installation
- les tests qui seront réalisés lors de la mise en service.

Lors de la mise en service du matériel, le titulaire communiquera à l'Université de Rennes les résultats qui prendront valeur contractuelle.

4. Formation

L'offre comprendra la formation à l'utilisation à l'équipement et au logiciel de pilotage, et à la maintenance de premier niveau des utilisateurs (5 à 7 personnes) dans les locaux de l'Université de Rennes.

Le titulaire fournira à l'Université de Rennes en 1 exemplaire papier et 1 exemplaire numérique l'ensemble de la documentation nécessaire à l'installation, l'utilisation et la maintenance de l'équipement et du logiciel de pilotage, ainsi qu'un dossier comprenant l'identification de tous les matériels, composants, etc. en liaison avec des schémas détaillés

Ces documents seront livrés au plus tard lors de la mise en service de l'équipement.
Une seconde formation en mode expert sera proposée en présentiel ou à distance.

5. Qualité du service technique (conception, fabrication, maintenance et expertise en PLD)

a- Phase de conception, fabrication et réception

Le candidat devra décrire explicitement l'organisation et l'expertise du service dédié au marché :

- Le personnel (nombre, localisation)
- Les qualifications des personnels dédiés au marché et leur expérience en système de PLD

b – Organisation après- réception : garantie et service après-vente

- La garantie sera au minimum de 12 mois, pièces, main-d'œuvre et déplacements compris, à partir de l'admission technique du matériel. Les candidats pourront formuler des garanties supérieures le en base. Elle devra couvrir l'ensemble du matériel fourni, y compris le matériel informatique. Le candidat pourra proposer une garantie supérieure.
- Le candidat devra décrire les conditions de la garantie et l'organisation de son service après-vente :
- Le taux horaire d'intervention
- Les frais fixes d'intervention
- Les délais contractuels d'intervention
- Les horaires d'intervention
- Les horaires de disponibilité de la hotline
- La possibilité ou non d'avoir une assistance technique en hotline sans coût supplémentaire, pendant et après la période de garantie

Les critères de sélection seront les suivants, par ordre d'importance décroissant :

- Valeur technique de l'offre 50 %
- Coût 30 %
- Qualité du service technique (conception, fabrication et maintenance) et expertise en PLD des équipes dédiées 15 %
- Délai d'exécution 5 %

Modalités de règlement

L'Université propose d'établir plusieurs versements financiers comme suivant :

- Une avance de 40 % du montant total HT pourra être versé à la notification du marché valant commande (le candidat indiquera dans l'acte d'engagement s'il souhaite le versement de cette avance).
- Un premier acompte pourra être versé à la livraison des plans
- Un second acompte pourra être versé à livraison de l'équipement
- Le solde sera versé à la réception finale.

Prestations supplémentaires éventuelles (PSE) à réponse obligatoire

Les options suivantes ou prestations supplémentaires éventuelles à réponse obligatoire seront susceptibles d'être retenues (si elles ne sont pas déjà incluses dans l'offre de base) :

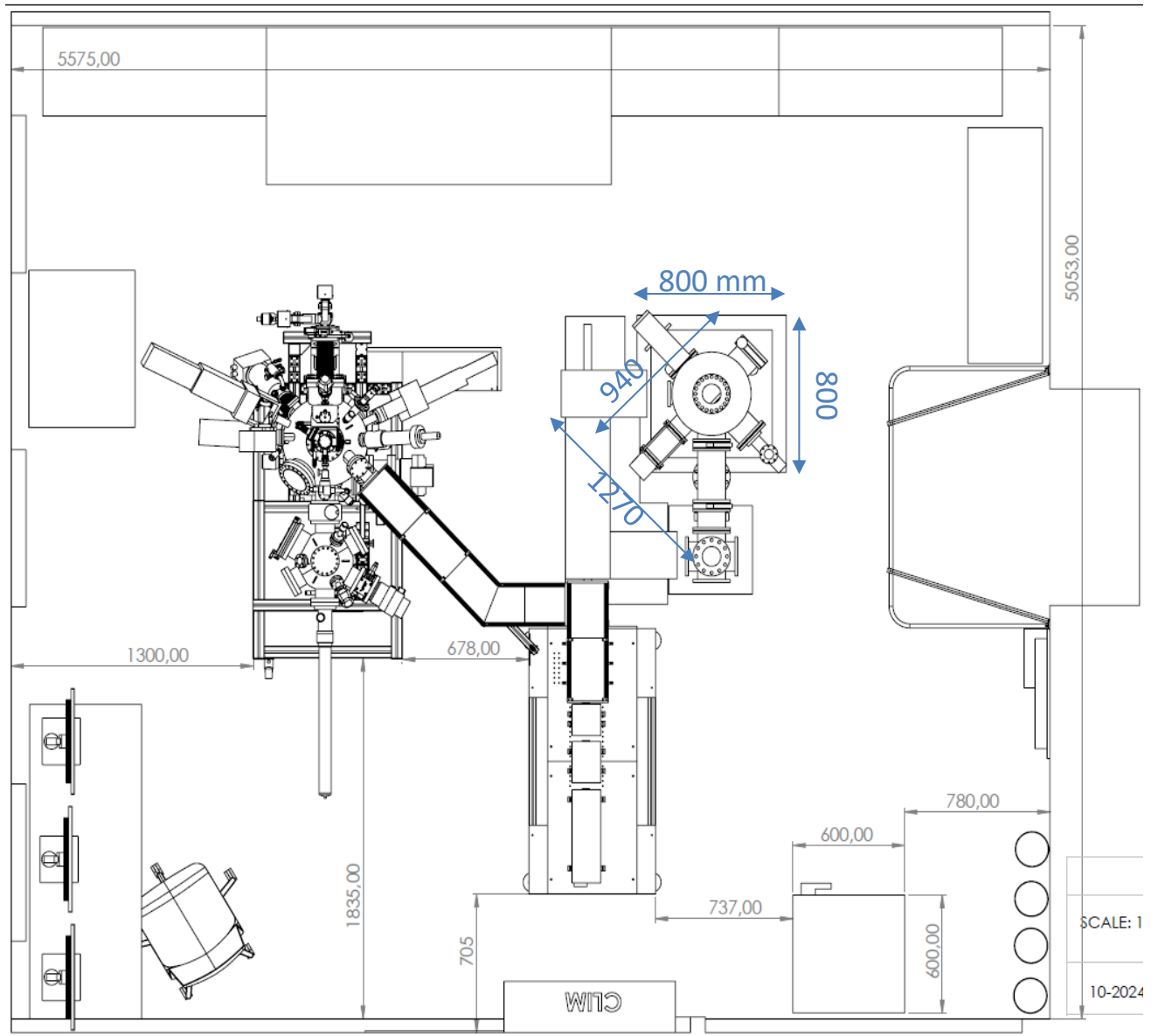
- PSE n°1 : Équipement de diffraction électronique haute énergie sous incidence rasante RHEED
- PSE n°2 : Porte-substrat permettant la fixation par clamp de substrats de 5*5 à 10*10 mm². La température de substrat maximale possible sera précisée pour cette fixation.
- PSE n°3 : Porte-substrat chauffant supplémentaire
- PSE n° 4 : extension de garantie d'une année au-delà de la garantie initiale
- PSE n° 5 : extension de garantie de deux années au-delà de la garantie initiale
- PSE n° 6 : extension de garantie de trois années au-delà de la garantie initiale

Annexes

Références:

- 1- Dielectric characterization in a broad frequency and temperature range of $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ thin films grown on Pt electrodes
M. Guilloux-Viry, J.R. Duclère, A. Rousseau, A. Perrin, D. Fasquelle, J.C. Carru, E. Cattan, C. Soyer, D. Rèmes
J. Appl. Phys. 97, 114102 (2005)
- 2- Epitaxial growth and cationic exchange properties of layered KNb_3O_8 thin films
A. Waroquet, V. Demange, N. Hakmeh, J. Perrière, S. Freslon, S. Députier, M. Guilloux-Viry
RSC Adv., 2017, 7, 15482, DOI: 10.1039/c7ra00261k
- 3- $\text{K}_x\text{Na}_{1-x}\text{NbO}_3$ perovskite thin films grown by pulsed laser deposition on R-plane sapphire for tunable microwave devices
B. Aspe, F. Cissé, X. Castel, V. Demange, S. Députier, S. Ollivier, V. Bouquet, L. Joanny, R. Sauleau, M. Guilloux-Viry
J Mater Sci (2018) 53:13042–13052
- 4- $\text{SrTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ Thin Films as Photocatalysts for Organic Dye Degradation: Influence of the Composition, Deposition Method, and Growth Orientation
A. L. M. de Oliveira, L. Chantelle, J. F. D. Figueiredo, I. A. de Sousa Filho, R. Lebullenger, S. Députier, I. T. Weber, M. Guilloux-Viry, I. M. G. Santos, V. Bouquet
Engineering Materials (2022) 87-109, DOI 10.1007/978-3-031-07622-0_3
- 5- Influence of $\text{K}_4\text{Nb}_6\text{O}_{17}$ secondary phase on ferroelectric behavior of $\text{K}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{NbO}_3$ thin films
B. Carreño-Jimenez, H. Kuentz, K. Kpton, T. Rotrou, S. Ollivier, V. Demange, L. Joanny, L. Rault, G. Taupier, B. Gautier, G. Le Rhun, and M. Guilloux-Viry
J. Mater. Chem. C 2025 DOI: 10.1039/d5tc02808f

Figures 1 - Plan d'implantation (layout plan)



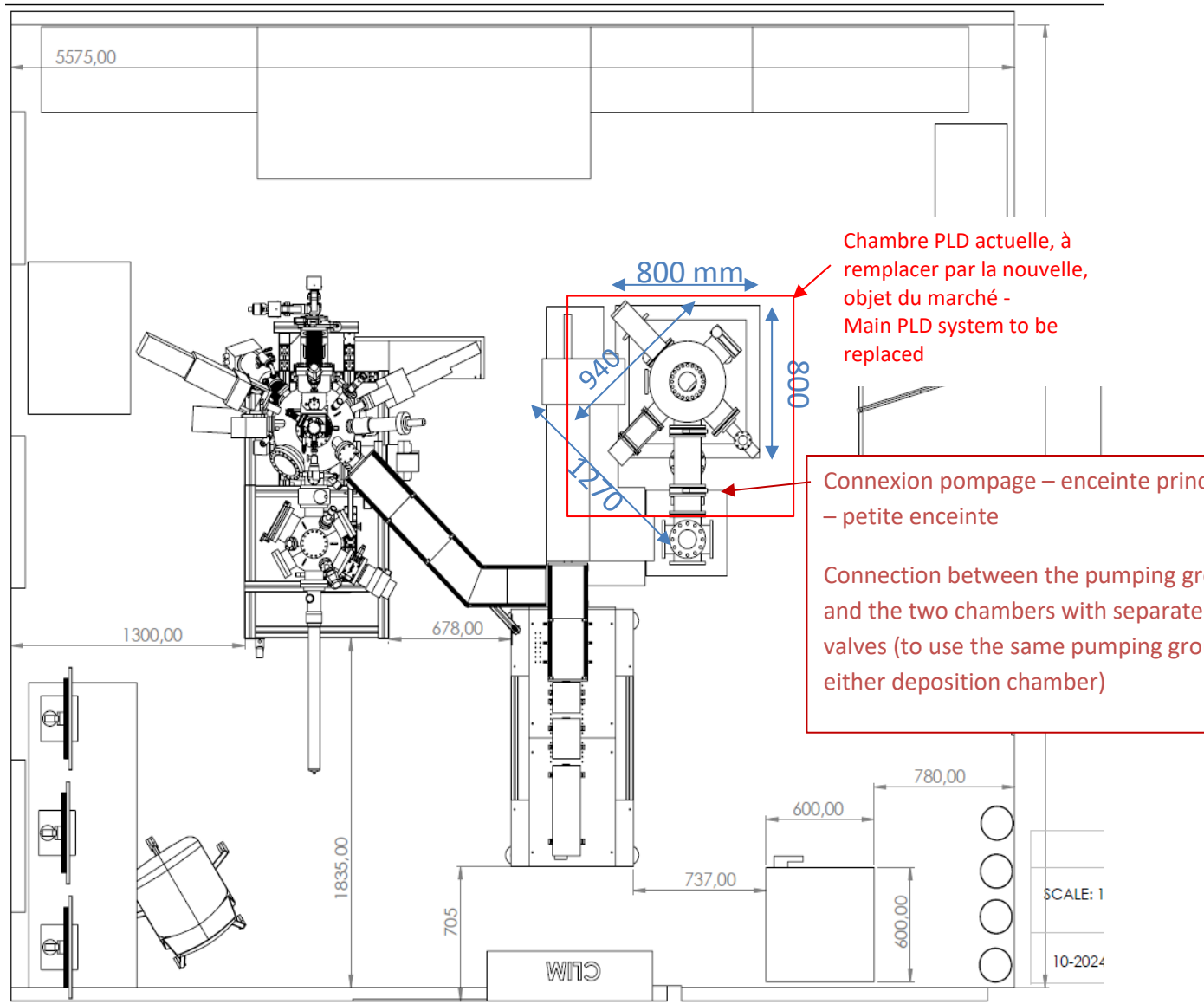


Figure 2 - Salle PLD – PLD room

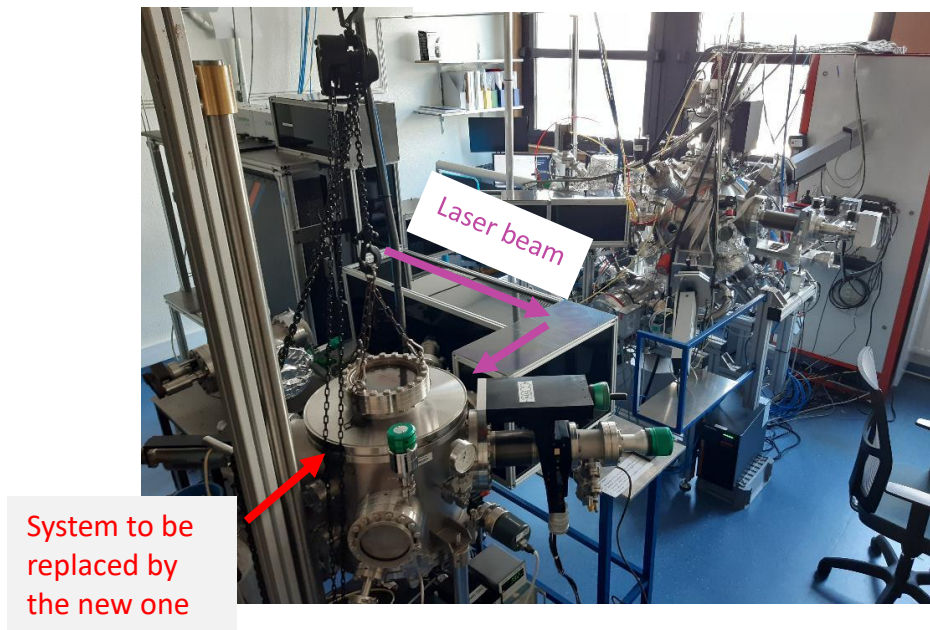


Figure 3 - Hauteur du hublot d'entrée du faisceau laser par rapport au sol ≈ 120 cm

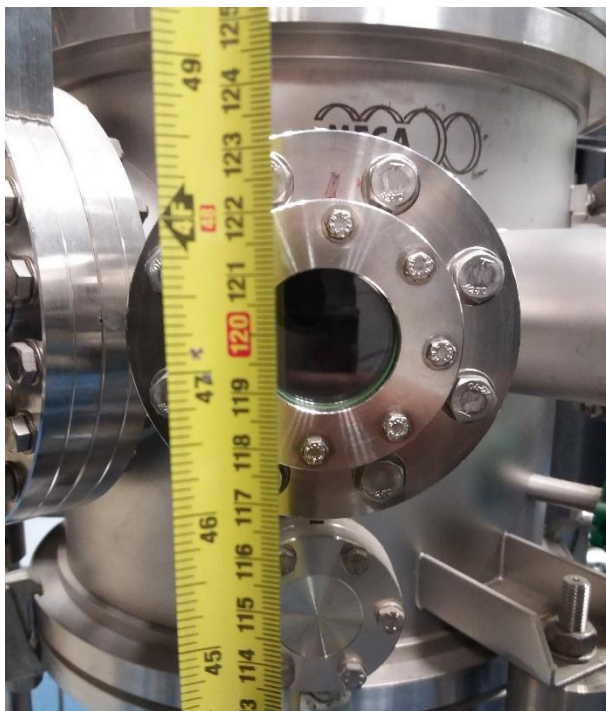
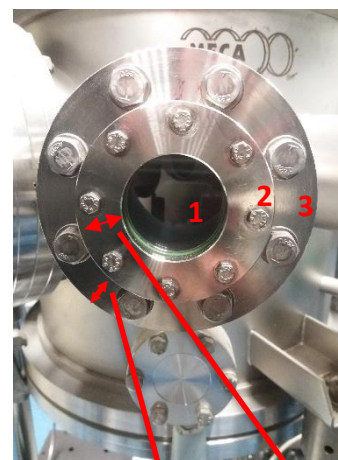


Figure 4 - Conception de la bride – hublot d'entrée du faisceau laser : au niveau de la petite bride, le hublot est monté avec des joints « viton » pour démontage fréquent



Diamètre 1 : ≈ 4 cm
(hublot entrée laser)

Diamètre 2 : ≈ 7.5 cm
(petite bride)

Diamètre 3 : ≈ 11.5 cm
(grande bride)

≈ 2 cm

≈ 1.8 cm

Figure 5 - Alignement axe porte-cible – porte- substrat

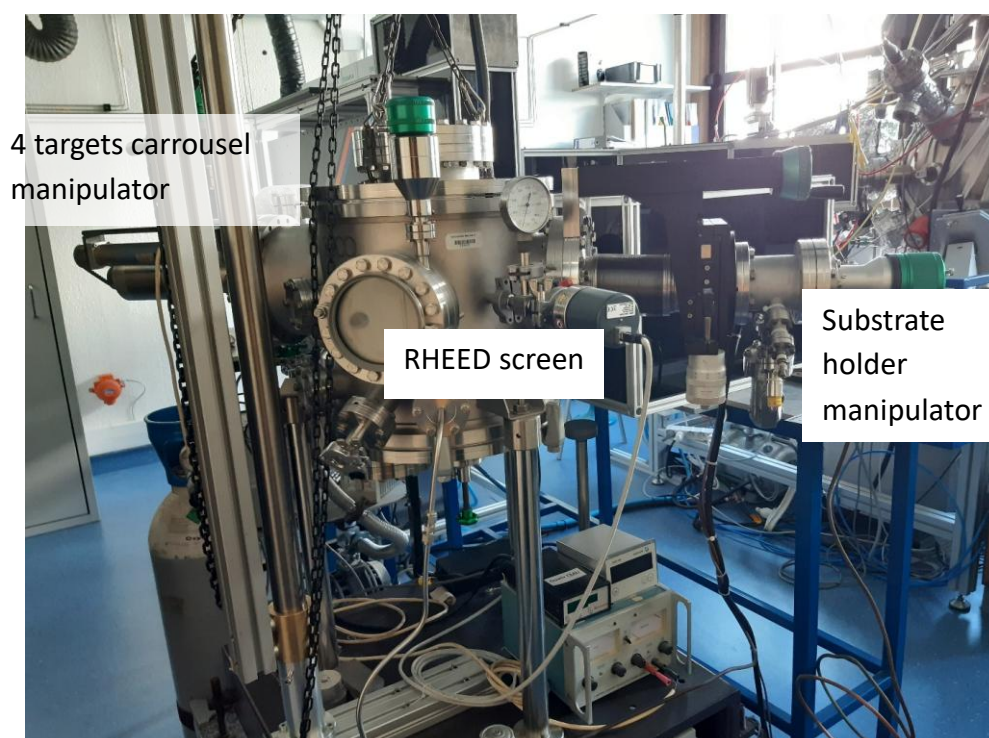


Figure 6 – enceinte principale (à remplacer par la nouvelle acquisition) à droite : connexion actuelle par un coude au système de pompage ; à gauche la petite enceinte existante



Figure 7 – dimensions du T pour connecter les deux enceintes au système de pompage partagé

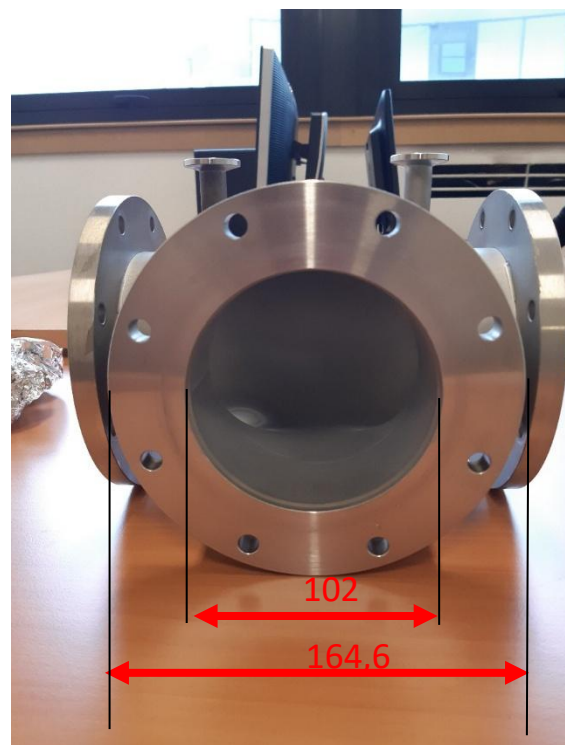
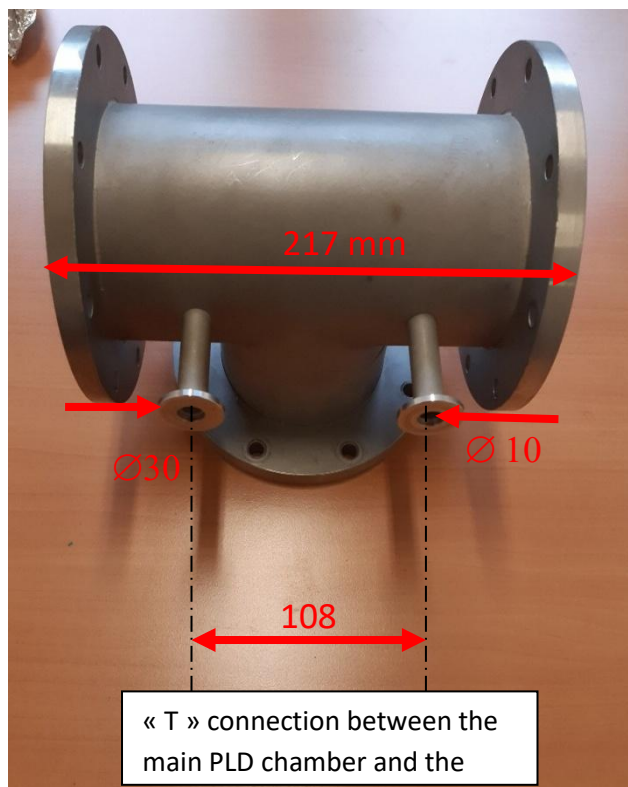


Figure 8 – Modèle de porte-cible utilisé actuellement (avec cible à droite) ; dimensions à préciser pendant la phase de conception

