LOT 4 : CAHIER DES CHARGES – FOUR DE RECUIT TUBULAIRE HORIZONTAL

1. BUT

Le présent cahier des charges concerne la fourniture, la livraison, l'installation, la mise en service ainsi que la formation à l'utilisation d'une plateforme de traitement thermique composée de fours tubulaires horizontaux. Cet équipement permettra d'effectuer des procédés de microfabrication sur plaquette allant jusqu'à 200 mm de diamètre de type : oxydation sèche et humide, dopage sous pression réduite et recuit de diffusion.

2. DOMAINE D'APPLICATION

Projet : HERMES
Université : Université de Tours
Site : STMicroelectronics Tours
Plateforme : CERTeM Bâtiment Innovation

3. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

CCAP Acquisition des équipements scientifiques du CERTeM

3.1. Normes et Directives

- Norme ISO 50001 ou équivalent (Energie)
- Norme ISO 14064 ou équivalent (Gaz PFC PerFluoroCarbures, gaz à effets de serre)
- Norme ISO 14001 ou équivalent (Environnement)
- Norme ISO 13850 ou équivalent : fonction d'arrêt d'urgence - principes de conception
- Directive relative aux machines 2006/42/CE ou équivalent
- Directive basse tension (LVD : Low Voltage DIRECTIVE) 2014/35/EU ou équivalent
- Directive compatibilité électromagnétique (EMC : Electromagnetic Compatibility DIRECTIVE) 2014/30/EU ou équivalent
- Directive champs électromagnétiques (EF : Electromagnetic fields DIRECTIVE) 2013/35/EU ou équivalent
- Directive ATEX 2014/34/EU ou équivalent
- Directive rayonnements optiques artificiels (Artificial Optical Radiations (laser, UV, IR…) DIRECTIVE 2006/25/CE ou équivalent
- Directive équipement sous pression (simple pressure vessels DIRECTIVE) 2014/29/EU ou équivalent
- Directive instruments de mesure (Measuring instruments DIRECTIVE) 2004/22/EC ou équivalent
- Directive rayonnements ionisants (X, α, β, γ) NFC 74-100 ou équivalent
- CLP règlement (CE) n°1272/2008 du Parlement européen relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances chimiques et des mélanges, ou équivalent.

Le cas échéant, l'équipement devra aussi être conforme à toute directive applicable

3.2. Site STMicroelectronics Tours

Demande de produits chimiques nouveaux	7069850
Recommandations environnementales concernant l'achat d'équipement.	0088693
Environment-related banned substances list (liste des substances interdites)	0115767
Manuel Environnement, Santé, Sécurité au travail et Energie du site de Tours	DM01001564

4. DÉFINITIONS

CERTeM : Centre d'Etudes et de Recherches Technologiques en Microélectronique
FAT : Factory Acceptation Test (test d'acceptation usine)
SAT : Site Acceptation Test (test d'acceptation sur site)
EMO : Emergency Machine Off (bouton d'arrêt d'urgence)
REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) : Enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des substances chimiques.
CLP (Classification, Labelling, Packaging) : Règlement relatif à la classification à l'étiquetage et à l'emballage des substances chimiques et des mélanges.
ROHS (Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment) : Restriction de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques.

FDS : Fiche De Sécurité
CCAP : Cahier des Clauses Administratives Particulières
ACS : Air Comprimé Sec
ATM : ATMospheric / procédé effectué à pression atmosphérique
DRIVE : Procédé de recuit thermique dédié à la diffusion des dopants
ANNEAL : Recuit thermique
Trans-LC : Agent de nettoyage/chloration in situ (Trans 1,2-Dichloroethylene)
$POCl_3$: Oxychlorure de phosphore (précurseur liquide pour le dopage de type N)
BCl_3 : Trichlorure de bore (précurseur gazeux pour le dopage de type P)
FGA : Forming Gas Anneal / recuit sous gaz de formation (N_2/H_2 5%)
HMI : Human Machine Interface / interface Homme-Machine de pilotage
PLC : Programmable Logic Controller / automate programmable industriel
MFC : Mass Flow Controller / régulateur de débit massique
Dummies : Plaquettes factices
Baffles : Plaquettes deflectrices
TC : Thermocouple
WARP : Traduit la déformation de la plaquette par rapport à une planéïté parfaite
BOW : Mesure de la courbure au centre de la plaquette
WiW : Within Wafer / uniformité sur une même plaquette
WtW : Wafer to Wafer / uniformité de plaquette à plaquette au sein d'un même lot
RtR : Run to Run / uniformité de lot à lot

5. GÉNÉRALITÉS

5.1. Documentation

Le titulairefournira la liste des fluides et leurs FDS (huiles, gaz, PFC, …) utilisés dans la machine, pour sa maintenance, susceptibles d'être soumis à approbation (contraintes sécurité, environnement).

- **Le manuel d'installation** *sera fourni 13 semaines avant la date de livraison de l'équipement*, incluant les dimensions, le poids de l'équipement ainsi que de ses différents sous-ensembles, les plans d'implantation en format .DWG, .STEP ou .DXF, la procédure de mise en configuration de transport ou déménagement, un tableau des consommations énergétiques et fluides dans une configuration standard donnée en mode standby et en mode process, les diagrammes et synoptiques d'alimentation de l'équipement en énergie, fluides et gaz incluant les types de raccords nécessaires ainsi que la quantité et la nature des rejets aqueux, gazeux et déchets divers.

Le titulaire remettra au plus tard à la date de livraison de l'équipement, un ensemble de deux jeux de notices d'instructions originales complètes en langue française ainsi qu'une version informatique.
Ces documentations seront conformes à la configuration machine livrée.
Ces jeux de notices devront au minimum comprendre les manuels :

- Le **manuel d'utilisation** incluant la spécification de mise en route, les procédures de paramétrage et configuration, les procédures d'utilisation en mode standard, les procédures de sécurité spécifiques.

- Le **manuel de maintenance** incluant les procédures des tests de l'équipement, la description des tâches de maintenance préventive préconisées (périodicité, procédure), la liste des pannes les plus courantes liée aux procédures de réparation correspondantes, la liste des codes d'alarmes et/ou de défauts et leur signification, les schémas (électriques, électroniques, pneumatiques), les vues éclatées des sous-ensembles mécaniques, la procédure de sauvegarde et de restauration des données informatique (logiciels, paramètres, programmes de process).

Seront également fournis :

- Un schéma électrique de la partie puissance de l'équipement.
- Un carnet de câbles si justifié par l'installation.
- La déclaration de conformité CE de l'équipement et de ses sous-ensembles
- Une analyse de risque équipement

5.2. Formation

Le titulaire dispensera des formations de minimum 30H se déroulant comme suit :

- Formation post-FAT (tests d'acceptation titulaire) : Dispense d'une formation théorique et pratique approfondie au sein de l'usine du titulaire pour un maximum de 2 personnes.

- Formation post-SAT (tests d'acceptation sur site) : Une session de formation au sein de la plateforme CERTeM sera dispensée pour un maximum de 3 personnes.

Ces heures et sessions de formation couvriront l'utilisation générale de la machine, l'édition des recettes via le logiciel de supervision, le contrôle des procédés et les tâches de maintenance préventive de premier niveau, au choix du CERTeM.

Le titulaire délivrera à chaque participant un certificat d'aptitude à l'issue de la formation correspondant au niveau des connaissances enseignées, incluant un volet sur les procédures de sécurité et la gestion des alarmes.

5.3. Outillage et Etalon(s)

L'équipement sera livré avec l'ensemble des outils nécessaires à la réalisation des tests de fonctionnalité tels que décrits dans la documentation.
L'équipement sera également doté des outils permettant son transport sans détérioration.

5.4. Ergonomie

L'équipement fourni devra respecter les règles d'ergonomie définies en annexe 3.
L'utilisation et la maintenance de l'équipement seront faciles et pratiques. Tous les outils spécifiques à la maintenance seront fournis.
En cas de manipulation dans des opérations de maintenance standard, de pièces d'un poids égal ou supérieur à 15 kg, des outils spéciaux (grue, palan…) seront fournis pour faciliter l'opération.

5.5. Informatique

Dans le cas où l'équipement est doté de PC avec un système d'exploitation de la fourniture Microsoft, ce système devra être au moins aussi récent que Microsoft Windows 11.

5.5.1. Sécurité du programme et des paramètres

Le titulaireremettra au plus tard à la date de livraison de l'équipement une sauvegarde de(s) logiciel(s) et des paramètres usines sur un support pouvant être réutilisé par la machine. Ce support devra, de plus, être fiable dans la durée.

Par ailleurs un ou des disques durs opérationnels sera livré avec la machine. Ces disques durs permettront de redémarrer la machine si celui ou ceux d'origine venait à être défaillant.

5.5.2. Virus et jeux

L'équipement sera certifié sans virus connu à la date de sa réception. Les systèmes informatiques devront comprendre un système anti-virus ne perturbant pas le fonctionnement. La mise à jour devra se faire automatiquement au travers d'une connexion internet.

6. EXIGENCES SÉCURITÉ

Les spécifications actuelles présentes dans ce cahier des charges viennent compléter les spécifications fournies par le constructeur. Toutes les caractéristiques énoncées sont susceptibles de faire l'objet d'un contrôle lors de l'installation de l'équipement au CERTeM. La totalité de l'équipement doit satisfaire aux normes de sécurité et décrets en vigueur en France au jour de livraison.

- Directive basse tension : 2014/35/EU ou équivalent
- Directive compatibilité électromagnétique : 2014/30/EU ou équivalent
- Directive ATEX 2014/34/EU ou équivalent
- Directive équipement sous pression : 2014/29/EU ou équivalent
- Directive rayonnements ionisants (X, α, β, γ) : NFC 74-100 ou équivalent
- Directive rayonnements non ionisants (laser, UV, IR…) : 2006/25/CE ou équivalent
- Directive rayonnements électromagnétiques : 2013/35/EU ou équivalent

Une déclaration de conformité (Annexe II de la directive 2006/42/CE du 17.05.2006 ou équivalent) ainsi qu'un marquage avec le logo CE seront exigés sur l'équipement. Le marquage devra être gravé à titre permanent sur matériau inaltérable. En cas de mise en évidence par l'utilisateur d'anomalies touchant à la sécurité, le titulaire prendra en charge toute mesure pour porter remède à ces déficiences dans les plus brefs délais.
Le certificat de conformité CE devra faire partie de la documentation fourniepar le titulaire. .

Toute zone portée à une température excédant 60°C tout point sous tension ou organes mécaniques dangereux devront être protégés afin d'éviter l'accès direct par un opérateur.
Le niveau sonore ne devra pas excéder 60 dBA à l'emplacement opérationnel habituel de l'opérateur. Les mesures éventuelles seront effectuées après arrêt des autres machines de la zone.

L'équipement doit être construit en matériaux incombustibles, limitant le risque feu et la génération de particules. Si des matériaux sont combustibles ils devront être FM4910 (NFPA) ou équivalent.

Dans le cas d'un équipement doté de un ou plusieurs laser(s), le titulaire s'engage à livrer au plus tard à la date de livraison une fiche comprenant clairement la classe du/des laser(s) ainsi que ses recommandations en matière de protection individuelle lors de l'utilisation et la maintenance de ce/ces laser(s).
Dans le cas où l'équipement utilise une source lumineuse dans des longueurs d'onde U.V., l'opérateur ne pourra être exposé à ses rayonnements.
Des champs magnétiques de fortes intensités peuvent entrainer des risques pour les personnes portant des Pacemakers ou broches réparatrices. Le titulaire déclarera si l'équipement présente en risque ou non. Dans le cas où le risque serait présent des indicateurs serait placés autour de l'équipement et sur l'équipement. (Respect du DÉCRET N°2016-1074 DU 3 AOÛT 2016 ou équivalent)
L'arrêt d'urgence sera conforme à la norme en vigueur (Norme ISO13850 ou équivalent).

6.1. Analyse de risques

Le titulairedevra donner au client :

- Une documentation analyse de risques (mécanique, ATeX, radiations…)
- Une documentation sécurité (procédure de réparation, équipement de support sécurisé…)

6.2. Panneaux et marquages

Les appareils de contrôle et les risques potentiels doivent être identifiés par des pictogrammes ou un texte en langue française.
Les points de manipulation de l'équipement doivent être clairement identifiés dans la documentation par un dessin, afin de rendre cette opération sécurisée
Chaque lampe liée à une panne doit être de couleur rouge ou orange

Une étiquette permanente doit être appliquée sur l'équipement par le titulaire comportant les informations suivantes :

- Identification du fabricant
- Equipement type, modèle, numéro de série, date de fabrication
- Tension électrique
- Alimentation simple ou polyphasique
- Fréquence électrique
- Courant maximum estimé
- Capacité maximum du dispositif de protection contre la surintensité
- Principe de référence du schéma électrique

7. PROCÉDURE

7.1. Définition de l'équipement :

Les équipements de démonstration ne seront acceptés.

7.1.1. Caractéristiques du/des produits (s) à transformer

Les substrats devant être recuits/dopés seront au format plaquette avec des diamètres pouvant aller de 100 mm à 200 mm, pour des épaisseurs variant de 300 à 1300 µm.
La nature de ces substrats sera majoritairement de type semiconducteurs (Si, GaN, SiC,…).

7.1.2. Contraintes liées à l'environnement de l'équipement

Bâtiment Innovation (Plateforme CERTeM R&D)
L'équipement prendra place dans une salle blanche de classe ISO5 dont les caractéristiques sont les suivantes :

Température	:	22°C +/- 1°C
Hygrométrie	:	40% +/- 5%
Vide réseau	:	200 mbars absolu (-800mbars)
ACS/N2 réseau	:	6,5 bars min
Electricité	:	

Réseaux triphasés normes CE 400V 50Hz
Réseaux monophasés normes CE 240V 50Hz
Schéma Liaison à la Terre (SLT) : TN (Neutre à la Terre)
Eclairage 400 lux inactinique en zone photolithographie
Réseau eau de refroidissement : pression aller = 5 bars et pression retour = 1,5bars
Température eau de refroidissement : 16,5°C +/- 0,5°C

Les viabilités devront pouvoir être raccordée par la partie haute de l'équipement hormis la vidange gravitaire. Dans le cas contraire, une solution devra être étudiée et validée avec les services d'engineering industriel.

L'évacuation de la chaleur générée par l'équipement s'effectuera par un échangeur thermique implanté sur le dessus, dont le débit de refroidissement par eau sera contrôlé. Son dimenssionnement sera prévu pour le fonctionnement simultané des 4 tubes.

Encombrement et contraintes d'implantation :
Dimensions hors-tout en zone blanche : La partie visible et exploitable en salle blanche ne devra pas excéder une longueur maximale de 1800 mm, une largeur maximale de 1500 mm et une hauteur maximale de 2700 mm.
Dimensions hors-tout en zone grise : L'armoire technique et de procédé située en zone grise ne devra pas excéder une longueur

7.1.3.Prestations de base – Fonctions

L'équipement sera basé sur un système de plateforme de four de recuit compact conçu de manière à accueillir quatre tubes horizontaux superposés et devra répondre aux caractéristiques fonctionnelles et matérielles suivantes :

F1 : Structure générale et configuration fonctionnelle des chambres de réaction
Le châssis sera conçu de manière à accueillir, de haut en bas, la configuration process suivante :
- Tube n°1 « ATM ANNEAL » : position la plus haute
- Tube n°2 « ATM DRIVE » : position intermédiaire supérieure
- Tube n°3 « $POCl_3$ SUB-ATMO » : position intermédiaire inférieure
- Tube n°4 « pré-équipé » : position la plus basse

Chaque tube/chambre de réaction sera indépendant d'un point de vue procédé.

Tube n°1 « ATM ANNEAL »
Applications : recuit haute température sous pression atmosphérique
Gamme de température maximale : de 700°C à 1180°C
Chambre de réaction : tube quartz de type HSQ400 ou équivalent
Ligne de gaz spécifique incluse :
Ajout d'une ligne d'injection de gaz de formage (FGA - Forming Gas : N_2/H_2 5%).
Module spécifique inclus :
Ajout d'une ligne d'injection et de gestion pour agent de nettoyage chloré de type Trans-LC.

Tube n°2 « ATM DRIVE »
Applications : recuit haute température sous pression atmosphérique dédié à la diffusion des dopants post-process « $POCl_3$ SUB-ATMO » et pouvant être couplé à une étape d'oxydation humide.
Gamme de température maximale : de 700°C à 1180°C
Chambre de réaction : tube quartz de type HSQ400 ou équivalent
Modules spécifiques inclus :
- Intégration d'un système de génération de vapeur d'eau désionisée externe (DI water steam system).
- Ajout d'une ligne d'injection et de gestion pour agent de nettoyage chloré de type Trans-LC.

Tube n°3 « $POCl_3$ SUB-ATMO »
Applications : pré-dépôt d'un verre de phosphore sous pression réduite (sub-atmosphérique) pour du dopage de type N.
Gamme de température maximale : de 700°C à 1100°C
Chambre de réaction : Tube quartz de type HSQ300 ou équivalent

Tube n°4 « pré-équipé »
Emplacement livré sans tube quartz fonctionnel mais intégralement pré-équipé au niveau matériel pour permettre une mise à niveau ultérieure sur site vers un procédé de dopage au bore (BCl_3) sous pression réduite (sub-atmosphérique).
L'upgrade ne devra pas impacter les performances process des tubes déjà en place !
Éléments matériels devant être pré-installés : élément chauffant de type Kanthal A1, câblages de puissance haute

température, transformateur dédié dans le rack de puissance, câbles de compensation pour thermocouples et connectiques automates de commande et boat loader.

F2 : Système de chauffe
Chaque chambre de réaction devra être équipée d'un corps de chauffe modulaire divisé en 3 zones de régulation indépendantes (source, centre, porte) afin de garantir une parfaite isothermie sur la zone utile.
- Zone plate de température (flat zone) :
La longueur de la zone isotherme utile devra être supérieure ou égale à 300 mm, permettant de processer de façon homogène une charge nominale constituée de 25 à 50 plaquettes (incluants plaquettes dummies et baffles).
- Technologie des éléments chauffants :
Tubes n°1 et n°2 : fil chauffant par résistance en alliage ferritique FeCrAl de type Kanthal APM, offrant une résistance mécanique accrue au fluage à haute température.
Tubes n°3 et n°4 : fil chauffant par résistance en alliage ferritique FeCrAl de type Kanthal A1.
- L'isolation thermique des chambres de réaction sera assurée par un ensemble de blocs céramique en Al_2O_3/SiO_2 pré-cuits et à surface durcie, ainsi que par des colliers en fibre de quartz.

F3 : Régulation en température
L'instrumentation et la sécurité thermique sera identique pour chaque chambre de réaction et reposera sur l'utilisation de thermocouples type R de classe 1. Des régulateurs de température numérique permettront le contrôle de la température externe, interne et en cascade, ainsi que la protection contre la surchauffe.
- Le contrôle interne se fera par un thermocouple de profilage amovible à triple jonction inséré sous gaine quartz directement positionné à l'intérieur de chaque chambre.
- Le contrôle externe et de sécurité se fera avec trois thermocouples de garde externes à double jonction, positionnés au contact direct de la paroi externe de chaque tube quartz pour chaque zone de chauffe. Ils assurent la régulation en cascade et la sécurité redondante contre les surchauffes.

F4 : Tubes de procédé – niveau de contamination
Le niveau de pureté des tubes en quartz fournis avec l'équipement est essentiel pour garantir la qualité des procédés et éviter toute contamination des dispositifs. Les niveaux d'impuretés des éléments cités ci-dessous devront impérativement respecter les teneurs renseignées en « ppm by weight oxide ».

Element	Al	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Na	Ti	Zr	OH
Teneur [ppm]	15	0,5	<0,05	<0,05	0,1	0,4	0,6	0,05	<0,05	0,3	1,1	1,0	<30

F5 : Cabinet de gaz et distribution des fluides
- Le cabinet de gaz devra inclure les systèmes de distribution nécessaires, avec les filtres requis (SPS ou équivalent), les régulateurs de pression et les manomètres (APTECH ou équivalent) pour les gaz process suivants : Ar, N_2, N_2 low, O_2, O_2 low, N_2/H_2 5% et BCl_3.
- Des vannes d'arrêt manuelles seront également montées au niveau du tableau de distribution pour chaque gaz.
- Le cabinet de gaz devra être sous aspiration controlé avec détecteur de pression.
- Le matériel utilisé devra satisfaire aux exigences process et sécurité (particules, pollution,…). Tous les raccords seront de type VCR, les lignes de gaz process seront en inox 316. Toutes les lignes de gaz seront éprouvées (étanchéité, particules, humidité) et devront pouvoir être purgées par une ligne d'Azote.
- Les vannes, MFC, manomètres et filtres devront être démontables via des raccords de type VCR.
- Dans le cas d'une défaillance du MFC associé au N_2 low, prévoir l'intégration de vannes de "by-pass" permettant notamment d'assurer la purge des bubblers.
- Une ligne de distribution d'ACS avec régulateur de pression, filtre et module à solénoïdes multiples sera prévue pour notamment la commande et la surveillance des vannes pneumatiques par l'automate programmable.
- Une ligne de distribution d'EDI associée entre autre au système de génération de vapeur d'eau avec les filtres et manomètres nécessaires sera également à prévoir.

F6 : Gaz process et précurseur
Chaque tube (ie. chambre de réaction) devra être associé a un panneau de gaz indépendant pour faciliter l'accès lors de la maintenance et équipé de régulateurs de débit massique (MFC) numériques (marques privilégiées : Bronkhorst ou Brooks Instrument) et de vannes pneumatiques (Flowlink ou équivalent).
- Le tube n°1 « ATM ANNEAL » disposera de 6 lignes de gaz pilotées par MFC (Ar, N_2, O_2, O_2 low, N_2/H_2 5%, N_2 low). La rampe intègrera également une ligne de balayage à l'azote pour prévenir tout mélange d'oxygène résiduel avec l'hydrogène.
- Le tube n°2 « ATM ADRIVE » disposera de 5 lignes de gaz pilotées par MFC (Ar, N_2, O_2, O_2 low, N_2 low).
- Le tube n°3 « $POCl_3$ SUB-ATMO » disposera de 3 lignes de gaz pilotées par MFC (N_2, O_2, N_2 low) et d'un régulateur de pression associé au précurseur $POCl_3$ pour le contrôle de la pression de process.
- Le tube n°4 « pré-équipé » sera muni d'attentes pour N_2, O_2 et BCl_3 en vue d'un raccordement ultérieur sur le panneau de gaz dédié.

F7 : Systèmes de nettoyage associés aux tubes n°1 « ATM ANNEAL » et n°2 « ATM DRIVE »

- Prévoir l'ajout de lignes d'injection et la gestion logicielle associée pour l'utilisation d'un agent de nettoyage chloré de type Trans-LC afin d'assurer la passivation et le nettoyage des tubes in situ.
- Pour chaque tube, un contrôleur de température indépendant pour une ampoule en quartz standard de 1,2 L avec détection de niveau bas du liquide sera fourni. Des pressostats de sécurité seront montés pour prévenir tout risque de surpression dans l'ampoule en verre.
- Les 2 ampoules de Trans-LC seront fournies par le CERTeM.

F8 : Système d'oxydation humide par vapeur d'eau associé au tube n°2 « ATM DRIVE »
Prévoir l'intégration d'un système de génération de vapeur d'eau ultra-pure (DI water steamer) ayant un débit de vapeur maximal de 12 L/min. La ligne de transfert entre le générateur et l'injecteur quartz (HSQ300 ou équivalent) sera en téflon thermalisé pour éviter toute condensation, et disposera également d'une vanne 3 voies pour la purge.

F9 : Système de dopage sous pression réduite associé au tube n°3 « $POCl_3$ SUB-ATMO »
Prévoir l'intégration d'un système capable d'effectuer du dopage de type N à pression réduite à partir d'un précurseur liquide de type $POCl_3$.
Pour cela, le tube de procédé sera conçu spécifiquement pour des applications pouvant varier de 50 mBar à 500 mBar.
- L'étanchéité à la porte devra être assurée par des raccords et brides en céramique de type Ultratorr, hautement résistants aux agressions chimiques et thermiques. Un injecteur interne en quartz assurera la distribution homogène du précurseur gazeux.
- L'intégralité des conduites sera en téflon, cela inclut les raccords et vannes reliant le panneau de gaz au bubbler, puis du bubbler à l'injecteur en entrée de tube ainsi que la tuyauterie pour le circuit de vide et la partie évacuation de la pompe vers l'extraction.
- Un contrôleur de température indépendant pour une ampoule en quartz standard de 1,2 L avec détection de niveau bas du liquide sera fourni. Un pressostat de sécurité sera monté pour prévenir tout risque de surpression dans l'ampoule en verre.
- Le système de vide sera constitué d'une pompe à membrane en téflon (PTFE) résistante aux agents corrosifs d'une capacité nominale de 60 L/h et d'une vanne d'isolement en téflon à commande pneumatique (marque privilégiée VACUUBRAND). Le taux de fuite de la chambre de réaction ne devra pas exéder 20 mbar/min.
- Inclure la surveillance du niveau de vide par un capteur analogique piézorésistif (THYRACONT ou équivalent) associé à deux vannes pneumatiques en téflon afin de mesurer la pression en amont et en aval de la vanne d'isolement.
- Prévoir l'intégration en amont de la pompe d'un piège à sous-produits en téflon équipé d'un filtre téflon intégré pour condenser et capturer les résidus solides de façon à protéger les lignes de vide.
- L'ampoule contenant le précuseur liquide $POCl_3$ sera fournie par le CERTeM.

F10 : Système de chargement des plaquettes
Les tubes fonctionnels n°1, n°2 et n°3, seront chacun équipés d'un système de transfert sans contact motorisé indépendant composé de deux tiges jumelées à basse masse thermique en carbure de silicium revêtu (CVD coated SiC rods), garantissant l'absence totale de fléchissement mécanique et de génération particulaire par friction à haute température.
La cinématique d'entrainement sera pilotée par des moteurs électriques de type brushless à codeurs numériques pour un contrôle des rampes d'accélération, de décélération et de positionnement.
Le tube n°4 comprendra uniquement la provision mécanique du système de chargement (boat loader).

F11 : Déflecteurs thermiques
Pour chaque tube fonctionnel seront mis en place deux jeux d'écrans thermiques avec support en quartz (HSQ300 ou équivalent), comprenant trois disques de quartz blanc (qualité UM100 ou équivalent) pour assurer un profil thermique homogène, réduire les pertes thermiques latérales et protéger les joints toriques aux extrémités de la chambre. Un jeu sera disposé du côté source de la chambre et l'autre du côté porte.
Dans le cas du tube n°3 « $POCl_3$ SUB-ATMO », le jeu d'écrans thermique côté porte sera remplacé par un déflecteur thermique constitué d'un cylindre plein en quartz opaque (HSQ300 ou équivalent) rempli de laine de quartz.

F12 : Nacelles
Fourniture d'un lot de nacelles sans paroi à 25 emplacements pour plaquettes 200 mm, pitch 6,35 mm et outils de préhension adéquat.
▪ 3 nacelles avec revêtement SiC (CVD coated SiC rods), dédiées au tube n°1 « ATM ANNEAL »
▪ 3 nacelles avec revêtement SiC (CVD coated SiC rods), dédiées au tube n°2 « ATM DRIVE »
▪ 3 nacelles en quartz dédiées au tube n°3 « $POCl_3$ SUB-ATMO »

F13 : Flux laminaire horizontal
L'équipement devra intégrer une station de chargement à flux laminaire horizontal équipée de modules de filtration HEPA devant garantir un niveau d'empoussièrement de classe ISO 5 (norme ISO 14644-1) au niveau des plans de

chargement de chaque tube y compris pour l'emplacement du tube n°4 « pré-équipé ».

F14 : Élévateur pour aide au chargement
Fournir une solution ergonomique pour le chargement de nacelle vers le tube process souhaité afin de réduire les risques de TMS (Troubles Musculo-Squelettiques) associés à des manipulations répétitives. Pour cela, la solution proposée devra s'apparenter à un élévateur à axe vertical unique équipé d'un plateau horizontal motorisé pouvant supporter une nacelle 8" pleine (25 plaquettes).
Cet élévateur devra disposer d'une interface homme-machine dédiée avec système de surveillance indépendant permettant l'apprentissage, la programmation et la mémorisation des positions d'arrêt pour chaque niveau de tube. Il pourra être fixé directement sur une cloison de la salle blanche ou sur l'équipement mais surtout à proximité immédiate de la zone de chargement de l'opérateur.

F15 : Automate programmable, supervision et sécurités électriques
Le système sera piloté par un automate programmable industriel multi-tâches (PLC – type Allen Bradley ou équivalent) capable de piloter de manière complètement indépandante chaque tube en assurant entre autre la gestion des régulations de température, des commandes de gaz et la sécurité des procédés.
- L'interface de communication avec les régulateurs de débit massique se fera en DeviceNet.
- L'interface de communication avec les variateurs de moteur, les régulateurs de température et les électrovannes sera en Ethernet IP.

Le logiciel de supervision disposera à minima des fonctionnalités suivantes :
- L'affichage en temps réel du synoptique général du four et de l'état de chaque chambre montrant l'ensemble des vannes, moteurs, MFC et températures.
- L'édition de recettes intuitif permettant de configurer des profils de procédés complexes comprenant jusqu'à 50 étapes séquentielles par recette.
- La mise en oeuvre indépendante de chaque tube (démarrage, arrêt, gestion des alarmes,…),
- La gestion possible des droits d'accès par mots de passe, hiérarchisée en plusieurs niveaux (opérateur, maintenance, procédé, administrateur).
- La traçabilité complète des données de procédé avec archivage automatique et outil d'analyse graphique (courbes d'historiques).
- La gestion active et l'historique des alarmes et des verrouillages matériels (interlocks).
- Inclure l'implémentation de la connectivité SECS/GEM conforme au standard SEMI E30 et E37.

7.1.4.Performance process

Caractéristiques des substrats de qualification :
L'ensemble des tests process exigés devra être validé sur des plaquettes de silicium standard répondant aux critères suivants :
- Diamètre : 200 mm
- Épaisseur : 725 µm
- Déformation mécanique : bow/warp ≤ 40 µm

L'équipement proposé devra démontrer le strict respect des critères d'homogénéité et de contamination particulaire mentionnés ci-après, conformément aux définitions mentionnées dans l'annexe n°2 :

- Configuration de la charge : Un lot complet comprendra un minimum de 25 plaquettes de production, complété par des plaquettes factices (dummies) et des écrans thermiques (baffles) en quartz pour simuler l'effet de charge thermique nominale d'une nacelle. Le pas d'espacement entre les plaquettes sur la nacelle sera fixé à 6,35 mm.

- Positionnement des plaquettes témoins : la caractérisation sera effectuée sur 3 plaquettes de contrôle identifiées et réparties le long de la zone utile de la nacelle :
- Plaquette "Source" : positionnée sur le slot n°02 (proche du fond du tube).
- Plaquette "Centre" : positionnée sur slot n°13 (milieu de zone).
- Plaquette "Porte" : positionnée sur le slot n°24 (proche de la zone d'enfournement).

- Cartographie des points de mesure : chaque plaquette témoin sera analysée en 9 points de mesure (1 point central, 4 points à mi-rayon à 90°, 4 points périphériques à 90°). Les points de mesure situés en périphérie de la plaquette seront positionnés à 10 mm du bord.

- Formules de calcul statistique : Les calculs de dispersion statistique appliqués pour l'évaluation des critères de conformité s'appuieront exclusivement sur l'écart-type standard (1σ).
1 - Uniformité Intra-Plaquette (WiW - Within Wafer) : Évalue la dispersion sur une même plaquette.
2 - Uniformité Plaquette à Plaquette (WtW - Wafer to Wafer) : Évalue la dispersion le long de la nacelle pour un même run.
3 - Reproductibilité Cycle à Cycle (RtR - Run to Run) : Évalue la dérive du procédé entre les runs.

P1 : Oxydation thermique sèche sur tubes n°1 « ATM ANNEAL » et n°2 « ATM DRIVE »
- Épaisseur ciblée : 100 nm (1000 Å).
- Homogénéité au sein de la plaque (WiW) et de plaque à plaque (WtW) : < 3%
- Reproductibilité de lot à lot (RtR) : ≤ 2%
- Mesure de l'épaisseur déposée par ellipsomètrie spectroscopique.

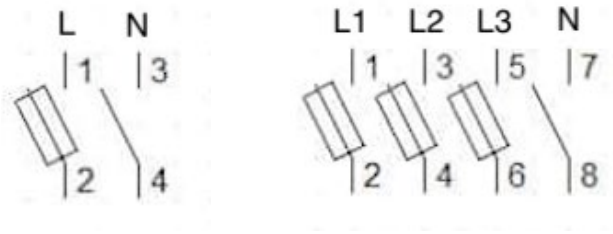
P2 : Oxydation thermique humide sur tube n°2 « ATM DRIVE » - procédé steamer
- Épaisseur ciblée : 150 nm (1500 Å).
- Homogénéité au sein de la plaque (WiW) et de plaque à plaque (WtW) : < 2%
- Reproductibilité de lot à lot (RtR) : ≤ 1%
- Mesure de l'épaisseur déposée par ellipsomètrie spectroscopique.

P3 : Dopage au phosphore sous pression réduite sur tube n°3 « $POCl_3$ SUB-ATMO »
- Résistance carré (Sheet Resistance Rs) ciblée : 10 Ω/□
- Homogénéité au sein de la plaque (WiW) et de plaque à plaque (WtW) : < 3%
- Reproductibilité de lot à lot (RtR) : ≤ 2%
- Mesure de la résistivité par méthode 4 pointes.

P4 : Défectivité - contamination particulaire
Afin de valider l'absence de microparticules pouvant être générées par le système de flux laminaire et par la cinématique de chargement/déchargement, un test de contrôle à blanc sera exécuté sur chaque tube actif (tubes n°1, n°2 et n°3).
Le protocole d'essai sera le suivant : Introduction mécanique de la charge, balayage sous gaz inerte N_2, maintien thermique à blanc, puis extraction mécanique. Aucun pompage mécanique agressif ni gaz réactif ne sera activé pendant ce test.
- Taille limite des particules contrôlées : ≥ 0,3 µm.
- Seuil maximal de contamination ajoutée : La quantité nette de particules ajoutées ne doit pas dépasser 0,4 particules/cm² par plaquette et par cycle complet.
- Mesure du nombre de particule déposée par inspection laser type Surfscan.
- Méthode d'évaluation : le calcul du nombre de particules ajoutées est obtenu par soustraction arithmétique directe des comptages laser effectués avant et après le cycle machine sur 3 plaquettes de silicium vierges 8" dédiées à cet effet.

7.1.5.Configuration

Si l'équipement dispose d'un dispositif de coupure électrique principal, celui-ci doit obligatoirement isoler le Neutre :



7.1.6. Prestations supplémentaires facultatives (à chiffrer séparément)

PSE n°1 : Fourniture d'un lot de nacelles supplémentaire sans paroi à 50 emplacements pour plaquettes 150 mm – pitch 4,76 mm et outils de préhension adéquat.
▪ 3 nacelles avec revêtement SiC (CVD coated SiC rods) dédiées au tube n°1 « ATM ANNEAL ».
▪ 3 nacelles avec revêtement SiC (CVD coated SiC rods) dédiées au tube n°2 « ATM DRIVE ».
▪ 3 nacelles en quartz dédiées au tube n°3 « $POCl_3$ SUB-ATMO ».

7.2.<u>Acceptation</u>

L'équipement suivra un processus d'acceptation en deux phases
- FAT: série de tests réalisés chez l' avant expédition de l'équipement
- SAT: tests d'acceptation de l'équipement après installation sur le lieu d'exploitation défini à l'Article 2

Ce processus vise à vérifier que l'équipement est conforme à la description faite dans le présent document.

7.2.1. Phase 1 : la pré-acceptation (FAT)

Le but de la pré-acceptation est de valider que l'équipement est fonctionnel avant son expédition sur le lieu d'exploitation.

L'expédition est, par conséquent, conditionnée aux signatures des deux parties, CERTeM et titulaire, à l'issue d'un examen effectué à l'aide de la liste de vérification, et consignées sur cette dernière (Annexe 1).

- Si tous les critères sont validés l'AUTORISATION D'EXPEDITION sera prononcée.
- Dans le cas contraire le titulairedevra présenter un plan d'actions correctives et un délai devra être fixé pour une nouvelle pré-acceptation (EXPEDITION/LIVRAISON REPORTEE).
- Le cas échéant, le REJET DE L'EQUIPEMENT pourra être prononcé.

7.2.2. Phase 2 : l'acceptation (SAT)

L'acceptation permet de valider, sur le lieu d'exploitation défini à l'Article 2, que l'équipement est fonctionnel et conforme à sa description faite dans le présent document.
Elle suivra la liste des points de vérification décrits au paragraphe 7.1, repris dans la liste de vérification en annexe 1.

Elle devra être réalisée dans le délai indiqué dans le CCAP et la fiche « Récapitulatif Acceptation » (Annexe 1) sera complétée et signée par les 2 parties.

- Si tous les objectifs sont atteints, l'ADMISSION TOTALE sera prononcée.
- Si les critères d'acceptation ne sont pas tous validés, le titulaire devra présenter un plan d'actions correctives afin de tenir les objectifs fixés (ADMISSION REPORTEE). Un délai devra être fixé pour une nouvelle acceptation.

Si certains critères s'avèrent ne pas être atteignables, une ADMISSION AVEC REFACTION pourra être prononcée, voire un REJET EQUIPEMENT.

7.3. Les critères

Les tableaux de l'annexe 1 doivent être dûment renseignés (colonnes FAT/SAT), avant la signature des fiches « SYNTHESE… » respectives des phases 1 et 2 mentionnées au § 7.2.

8. EXIGENCES QUALITÉ

8.1. Livraison

8.1.1. Expédition

La procédure d'acheminement sera à la charge et sous la responsabilité du titulaire.
Avant expédition, le titulaire transmettra par e-mail les données suivantes :

- Nombre de caisse(s),
- Dimension et poids de(s) caisse(s),
- Nom du transporteur,
- Numéro de suivi du colis exploitable par le transporteur,
- Date estimée de réception.

L'adresse d'expédition sera la suivante :

Plateforme CERTeM R&D - bâtiment Innovation
Attn.: M. VALENTE Damien / M. HALBOUT Thierry
STMicroelectronics
153 Rue des Douets
37100 Tours Cedex 2
France

N° tél. : +33/247424000
E-mail : damien.valente@univ-tours.fr

La responsabilité du titulaire durant la phase d'acheminement s'arrêtera à partir du début du déchargement de l'équipement depuis son mode de transport. Cette responsabilité deviendra alors conjointe entre le CERTeM et le titulaire pendant les phases de déchargement, décaissage et acheminement vers le lieu d'exploitation.

8.1.2. Décaissement

Le décaissement sera réalisé en présence d'un représentant du CERTeM ainsi que d'un représentant qualifié du titulairer. Le but sera de vérifier que la totalité des sous-ensembles de l'équipement sont conformes et n'ont été endommagés ni par le transport ni par le décaissement.

8.2. Garantie

La durée de garantie de l'équipement ne devra pas être inférieure à 2 ans à partir de la date de prononciation de l'acceptation conformément aux dispositions du CCAP.

Prestation supplémentaire facultative : extension de garantie d'un an supplémentaire
Le soumissionnaire proposera, en prestation supplémentaire facultative, une **extension de la durée de garantie de l'équipement d'une année supplémentaire** au-delà de la période de garantie prévue au marché.

Cette extension de garantie couvrira les mêmes équipements, pièces, composants et prestations que la garantie de base, dans les mêmes conditions et selon les mêmes modalités d'intervention.

Pendant cette période supplémentaire, le titulaire prendra notamment en charge les éléments listés ci dessous.
Le soumissionnaire indiquera distinctement dans son offre le **prix forfaitaire de cette extension de garantie d'un an**.

L'acheteur se réserve la possibilité de retenir ou non cette prestation supplémentaire facultative lors de l'attribution du marché.

Celle-ci couvre :

- tout défaut de matériel et/ou logiciel, hors consommables,
- l'amélioration du matériel et du logiciel sans frais jusqu'à réalisation de l'ensemble des items, même mineurs, compris dans ce présent cahier des charges
- la pleine atteinte des performances également spécifiées,
- les frais de main d'œuvre (incluant transport, restauration et logement des intervenants) et de matériel (incluant l'acheminement des pièces) en cas de nécessité d'intervention du titulaire, pour réparation des éventuelles défaillances matérielles et/ou logicielles.

Pendant cette période de garantie, le titulairer s'engage en cas de défaillance de l'équipement ayant entraîné un arrêt de l'équipement, à faire intervenir un de ses spécialistes dans un délai maximum de 2 jours ouvrés (du lundi au vendredi). Le déclenchement d'une telle intervention se fera à l'issue d'une demande du CERTeM par téléphone ou e-mail. Ce déclenchement pourra se faire à l'issue d'une tentative de dépannage à distance qui sera rendue possible par la disponibilité d'un technicien spécialiste par téléphone dans un délai de 1 jour maximum entre le lundi et le vendredi de 8h00 à 18h00, hors jours fériés.

8.3. Confidentialité

Les employés du titulaire qui seront amenés à travailler sur le site du CERTeM devront considérer comme confidentielle toute information qu'ils pourraient collecter pendant leurs travaux. Le titulaire sera tenu responsable des actes de ses collaborateurs.

Tout manquement à cette règle entraînera des poursuites légales.

8.4. Pérennité

L'ensemble des **pièces détachées** de l'équipement sera **fourni** par l'équipementier pendant une durée minimum de **10 ans**.
Pendant les **5 années** suivant l'installation du système, le titulaires'engage à **informer** par écrit le CERTeM des **améliorations** apportées au **produit**.
Cette communication, gratuite pour le CERTeM, portera au minimum sur les sujets suivants :

- Modifications et **améliorations** des procédures de sécurité,
- Pièces obsolètes,
- Améliorations du logiciel,
- Amélioration du matériel.

Pièces détachées :
Le titulaire s'engage à délivrer au CERTeM, dans un délai de 1 mois à partir de la date de réception de commande, les éléments suivants :

- Liste complète et détaillée des pièces de rechange (consommables et non consommables) avec leur référence, description, prix et délai. Les références devront correspondre à la nomenclature décrite dans la documentation machine,

- Liste complète des kits de pièces de rechange recommandés accompagné des prix et délais correspondants.

9. EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES / ÉCOLOGIQUES

L'équipement ne comprendra aucun matériau à base d'amiante.

Le titulaire livrera au plus tard à la date de réception de l'équipement une fiche comprenant les informations sur la consommation énergétique.

9.1. Energie

Le titulairer doit s'assurer que la consommation de l'équipement (électricité, gaz, exhaust, eau…) est la plus basse possible au sens de la norme ISO 50001 ou équivalent.
L'équipement sera conçu pour minimiser la consommation de fluides et énergies (faible extraction si possible, vitesse de pompe d'évacuation faible en mode standby. Le titulaire donnera lors de la réception de l'équipement un document contenant les informations suivantes : (Ce document pourra être inclus dans la documentation de l'équipement comme expliqué paragraphe 5.1) puissance, fluides et consommation de gaz dans les différentes configurations (repos, process…) et l'identification et la quantité de solides, fluides et gaz rejetés pour un process donné.

En plus le titulaire a en charge de diminuer la quantité d'emballages, de les enlever si possible et d'encourager la réutilisation de ces emballages.

9.2. Substances interdites

Le titulaire respectera les règlements Européens comme REACH, CLP et ROHS

L'équipement et les outils ne contiendront pas d'amiante. Ils n'utiliseront pas de substance interdite comme PCB, CFC ou HCFC (R11…) ni de fluides dont l'interdiction est programmée dans les prochaines années, (typiquement R22, R403B, R124…).

Pour les équipements de réfrigérations, Les Gaz à effets de serre fluorés dont le PRP (potentiel de réchauffement planétaire) supérieur ou égal à 2500 seront également interdits.

En cas d'utilisation de substance non interdite mais couverte par les accords de Kyoto, (fluor, gaz…), même si cette substance se trouve dans une zone hermétiquement scellée, une étiquette claire et indélébile est obligatoire comportant au moins les informations suivantes :

- Nom du gaz (molécule)
- Quantité
- Statut clair : « contient fluor couvert par le protocole de Kyoto »

****

Annexe 1 - Liste des critères d’acceptation usine et site et certificats FAT/SAT

Annexe 2 : Règles de calcul de dispersion statistique

Annexe 3 - Règles d’ergonomie

Annexe 4 - Dossier de raccordement

ANNEXE 1 - Liste des critères d'acceptation usine et site et certificats FAT/SAT

RECAPITULATIF ACCEPTATION			
N° de marché :			
Appel d'Offres :			
Numéro de lot :			
DETAILS EQUIPEMENT	Titulaire :		
	Modèle :		
	Numéro de Série :		
FAT Resultats (*)	☐ EXPEDITION / LIVRAISON ☐ EXPEDITION / LIVRAISON REPORTEE Date prévisionnelle : ☐ REJET de l'EQUIPEMENT		
SAT Resultats (*)	☐ ADMISSION TOTALE ☐ REFACTION ☐ ADMISSION REPORTEE Date prévisionnelle : ☐ REJET de l'EQUIPEMENT		
Commentaires			
	Nom	Signature	Date
Titulaire			
CERTeM			

(*) supprimer la mention inutile

ANNEXE 1 SUITE

LISTE DES CRITERES D'ACCEPTATION USINE ET SITE EQUIPEMENT ID:					
ENVIRONNEMENT, ÉCOLOGIE.	**CONDITIONS DU TEST.**	**CRITERES.**	**MESURE**	**FAT**	**SAT**
Absence d'amiante	N/A	Certificat signé du titulaire	Lecture Observation		
Tableau des consommations énergétiques	N/A	Présence des documents	Lecture		
Identification et quantification des rejets solides, liquides et gazeux	N/A	Présence des documents	Lecture		

ANNEXE 1 SUITE

DOCUMENTATION.	**CONDITIONS DU TEST.**	**CRITERES.**	**MESURE**	**FAT**	**SAT**
Manuel d'installation	Avec le titulaire	Dimensions, poids, plan d'implantation, mise en configuration transport, tableau consommations, diagrammes et synoptiques	Lecture		
Manuel d'utilisation	Avec le titulaire	Mise en route, paramétrage, utilisation en mode standard, procédures de sécurité spécifiques	Lecture		
Manuel de maintenance	Avec le titulaire	Tests, maintenance préventive, liste pannes courantes, schémas, vues éclatées, sauvegarde des données informatique	Lecture		

ANNEXE 1 SUITE

SECURITE	**CONDITIONS DU TEST.**	**CRITERES.**	**MESURE**	**FAT**	**SAT**
Présence du marquage CE et certificat de conformité.	N/A	Plaque CE + Certificat signé	Visuel lecture		
Absence de champ magnétique	N/A	Certificat signé du titulaire	lecture		
Bruit	Placement de l'appareil de mesure aux endroits de travail habituel, tout autre mécanisme externe coupé	< 60 dBA	Sonomètre		
Présence document lié à l'utilisation et à la maintenance des lasers.	N/A	Présence document	Lecture		
Conformité des arrêts d'urgence	N/A	Les boutons d'arrêts d'urgence ainsi que leurs protections doivent être conformes à la norme	Observation		
Efficacité des arrêts d'urgence, sont-ils rapidement et facilement accessibles par l'opérateur	Test de l'ensemble des boutons d'arrêt d'urgence en cycle	Arrêt immédiat de tous mouvements + coupure alimentations > 24 V	Observation		
Contrôle de la durée de remise en configuration de l'équipement après une coupure sécurité (A.U., ouverture porte, …),	Appuie d'un Arrêt d'Urgence en cours de cycle, puis reconditionnement jusqu'à départ cycle	< 5 min. (machine reconfigurée pour production)	Chronomètre		
Test d'efficacité des éléments de protection (capotage, barrières IR,…),	Idem Arrêt d'Urgence mais avec les différents éléments de protection	Arrêt de tous mouvements + coupure alimentations > 24 V	Observation		
Isolation des pièces à température > à 60°C.	Simulation d'atteinte des pièces à température élevée en cycle	Pas de possibilité d'accès à des pièces chauffées à plus de 60°C (+ pictogrammes affichés pour identifier la zone à risque)	Observation thermomètre		

Les organes en mouvement et accessibles de transmission doivent être protégés	N/A	Présence de protection.	Observation		
Les arêtes vives (autres que les outils coupants) sont-elles bien protégées et/ou supprimés ?	N/A	Absence et/ou protection des arêtes vives.	Observation		
Les machines émettant des poussières, copeaux, vapeurs, gaz et autres émissions et/ou déchets sont-elles équipées de moyens de captage adaptables sur les installations d'évacuation d'ateliers ou de moyens autonomes	N/A	Présence des moyens de captage	Observation		
Toute la machine ou la ligne est-elle reliée à la masse et branchée sur la borne générale de mise à la terre ?	N/A	Présence de branchement	Observation		
Le conducteur de neutre est-il protégé ?	N/A	Présence de protection	Observation		
Ergonomie de la machine.	N/A	La machine doit être conforme à l'ergonomie tel que définie dans l'annexe 4	Observation		

ANNEXE 1 SUITE

OUTILLAGE	CONDITIONS DU TEST.	CRITERES.	MESURE	FAT	SAT
Outil de test	N/A	Présence des outils de test	Visuel		
Outil d'Etalonnage	N/A	Présence des Etalons & Délivrance d'un ou plusieurs certificats d'étalonnages.	Visuel		
Outils de transport et /ou déménagement	N/A	Présence des outils de transport et/ou de déménagement	Visuel		

ANNEXE 1 SUITE

INFORMATIQUE	**CONDITIONS DU TEST.**	**CRITERES.**	**MESURE**	**FAT**	**SAT**
Sécurité des programmes et paramètres	N/A	Existence de la sauvegarde	Visuel, Contrôle		
Virus et jeux	Démonstration anti-virus	Compte-rendu de l'anti-virus et/ou attestation signée par le titulairefournisseur garantissant la non présence de jeux et virus	Contrôle		

ANNEXE 1 SUITE

FORMATION	**CONDITIONS DU TEST.**	**CRITERES.**	**MESURE**	**FAT**	**SAT**
Formation fonctionnement	N/A	Certification par le titulairer après formation	Certificat de formation remis à chaque personne formée		
Formation process	N/A	Certification par le titulaire après formation	Certificat de formation remis à chaque personne formée		
Formation maintenance	N/A	Certification par le titulaire après formation	Certificat de formation remis à chaque personne formée		

ANNEXE 1 SUITE

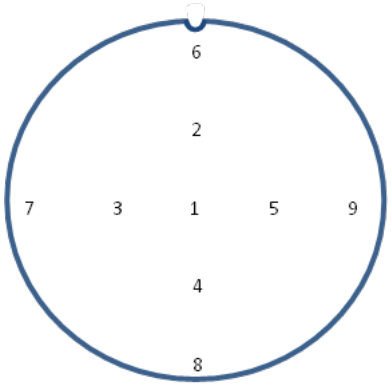
FONCTION	CONDITIONS DU TEST	CRITERES	MESURES	FAT	SAT
F1 Structure générale	Vérification de la structure générale et configuration fonctionnelle des chambres.	Contrôle visuel et dimensionnel des tubes en quartz	Contrôle visuel		
	Pré-équipement du tube n°4.	Vérification de la présence physique de l'élément chauffant, du rack de puissance, du transformateur et des fils de thermocouples compensés et du boat loader.	Contrôle visuel		
F2 Système de chauffe	Revue documentaire des fiches techniques des éléments chauffants et de l'isolation.	Kanthal APM pour les tubes n°1 et n°2 ; Kanthal A1 pour les tubes n°3 et n°4.	Contrôle visuel		
F3 Régulation en température	Sécurités et thermocouples.	Pour chaque tube, vérification de la lecture des 3 points du TC de profilage interne et test de déclenchement de la sécurité de surchauffe sur les 3 TC spike externes.	Contrôle visuel		
F4 Tube process	Revue documentaire des certificats matières des tubes quartz livrés.	Respect des teneurs en impuretés.	Contrôle visuel		
F5 Cabinet de gaz	Test d'étanchéité global à l'Azote sur l'ensemble du cabinet. Contrôle visuel de la tuyauterie. Simulation de baisse de pression d'aspiration et de défaillance MFC.	Aspiration régulée avec capteur de pression. Lignes inox 316, tous raccords de type VCR. Présence de filtres requis manomètres/régulateurs. Vannes de by-pass présentes sur MFC N2 low. Ligne de commande ACS et ligne EDI intégrées.	Taux de fuite d'Hélium (mbar.L/s) Valeur de pression d'aspiration du cabinet.		
F6 Gaz process	Inspection des panneaux de distribution de gaz et test d'étalonnage des régulateurs de débit massique (MFC) sous supervision. Test de la séquence de sécurité O2-H2 sur le tube n°1.	- Tube n°1 : 6 lignes MFC (Ar, N2, O2, O2 low, N2/H2 5%, N2 low) + ligne de balayage de sécurité N2. - Tube n°2 : 5 lignes MFC (Ar, N2, O2, O2 low, N2 low). - Tube n°3 : 3 lignes MFC (N2, O2, N2 low) + régulateur POCl3. - Tube n°4 : attentes N2, O2, BCl3.	Relevés de débit massique par canal (sccm/slm). Vérification de la cinématique d'ouverture des vannes.		
F7 Trans-LC	Présence du système d'injection de Trans-LC sur tubes n°1 et n°2. Test d'alarme niveau bas et de surpression sur les ampoules.	Capteur de niveau bas fonctionnel. Pressostats de sécurité d'ampoule actifs. Interface de commande logicielle opérationnelle.	Seuil physique de détection niveau bas (ml). Pression limite de déclenchement du pressostat de sécurité d'ampoule (bar).		
F8 Water steamer	Présence du système de génération de vapeur associé au tube n°2.	Test de génération de flux de vapeur avec débit ≥ 12 L/min. Ligne de transfert en Téflon thermalisée (absence de condensation). Vanne 3 voies de purge opérationnelle. Injecteur quartz.	Débit de vapeur généré (L/min). Température mesurée le long de la ligne thermalisée (°C).		
F9 Dopage sous pression réduite	Présence du système de dopage sous pression réduite. Mise sous vide de la chambre du tube n°3. Test d'étanchéité de porte et contrôle de remontée de pression.	Pression process régulée de 50 à 500 mBar. Étanchéité de porte par brides céramiques Ultratorr. Conduites, raccords, vannes et piège à résidus en téflon. Taux de fuite de la chambre ≤ 20 mbar/min. Capteur de vide analogique (Thyracont) et vannes amont/aval opérationnels.	Niveau de vide limite (mbar). Taux de fuite mesuré (mbar/min).		

F10 Chargement	Test cinématique de chargement/déchargement complet en charge (tubes n°1, n°2 et n°3). Vérification de la provision du tube n°1.	Aucun fléchissement ou contact mécanique. Moteurs brushless à codeurs numériques actifs (rampes d'accélération/ décélération paramétrables).	Contrôle visuel		
F11 Déflecteurs	Présence du jeu de déflecteurs thermiques	- Tubes n°1 et n°2 : 2 jeux d'écrans avec support quartz et 3 disques quartz blanc. - Tube n°3 : jeu côté source identique, jeu côté porte remplacé par un cylindre plein en quartz opaque rempli de laine de quartz. Joints toriques parfaitement protégés.	Contrôle visuel		
F12 Nacelles	Inventaire physique et test pratique d'insertion de plaquettes 200 mm avec l'outil de préhension fourni.	Livraison de : 3 nacelles SiC (tube n°1) + 3 nacelles SiC (tube n°2) + 3 nacelles quartz (tube n°3). Nacelles sans paroi, 25 emplacements, pitch 6,35 mm pour plaquettes de 200 mm.	Contrôle visuel		
F13 Flux laminaire	Présence de la station de chargement à flux laminaire horizontal	Filtration HEPA garantissant la classe ISO 5 (selon norme ISO 14644-1) sur tous les plans de chargement.	Contrôle visuel		
F14 Elevateur	Test de charge sur le plateau de l'élévateur. Programmation et rappel des positions mémorisées via l'IHM.	Élévateur à axe vertical unique avec plateau motorisé supportant une nacelle 8" pleine. IHM dédiée opérationnelle, système de surveillance indépendant actif.	Contrôle visuel		
F15 Automate	Test d'édition de recettes. Simulation de défauts pour déclenchement d'interlocks. Test de communication et d'accès.	Automate (PLC Allen Bradley ou éq.). Communication DeviceNet (MFC) et Ethernet IP (moteurs, temp, vannes) active. Logiciel avec : synoptique dynamique, gestion d'accès multi-niveaux, traçabilité des données, archivage auto.	Contrôle visuel		

ANNEXE 1 SUITE

PERFORMANCES PROCESS	**CONDITIONS DU TEST**	**CRITERES**	**MESURES**	**FAT**	**SAT**
P1	Oxydation sèche tubes n°1 et n°2	• Homogénéité WiW (1σ) : < 3% • Homogénéité WtW (1σ) : < 3% • Reproductibilité RtR (1σ) : ≤ 2%	Épaisseur mesurée par ellipsométrie Cible : **50 nm**		
P2	Oxydation humide - steamer tube n°2	• Homogénéité WiW (1σ) : < 2% • Homogénéité WtW (1σ) : < 2% • Reproductibilité RtR (1σ) : ≤ 1%	Épaisseur mesurée par ellipsométrie Cible : **150 nm**		
P3	Dopage POCl3 tube n°3	• Homogénéité WiW (1σ) : < 3% • Homogénéité WtW (1σ) : < 3% • Reproductibilité RtR (1σ) : ≤ 2%	Mesure de la résistance carré par méthode 4 pointes. Cible : 10 Ω/□		
P4	Contamination particulaire tubes n°1, n°2 et n°3	Densité de défauts ≤ 0,4 particules/cm²	Passage de plaquettes de test sur un compteur de particules de surface de type KLA Surfscan.		

ANNEXE 2 – Règles de calcul de dispersion statistique



- 9 points seront mesurés sur chaque plaquette.
- 3 runs consécutifs.
- 3 plaquettes mesurées sur 50 plaquettes (n°02, n°13 et n°24).
- Zone d'exclusion des mesures située à 10 mm du bord des plaquettes.

Within Wafer (WiW) - calcul de l'épaisseur moyenne :

$$Y_{av} = \frac{1}{N}\sum_{i-1}^{N} Y_i$$

Avec, N le nombre de points par plaquette ; Y_i la valeur mesurée pour chaque point.
$Y_{av\ (WiW)}$ l'uniformité intra-plaquette.

Within wafer (WiW) - calcul de l'uniformité en épaisseur :

$$WiW\ (1\sigma) = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(xi_{WiW} - Y_{av})^2}$$

Avec, Xi_{WiW} correspondant à la valeur individuelle des données mesurées (mesure en 9 points sur une plaquette),
$Y_{av\ (WiW)}$ la valeur moyenne de la plaquette.
N est le nombre total de valeurs (9 si la mesure est effectuée en 9 points par plaquette).

Wafer to wafer (WtW) - calcul de l'épaisseur moyenne :

$$Y_{av\ (WtW)} = \frac{1}{N}\sum_{i-1}^{N} Y_{av\ (WiW)}$$

Avec, N le nombre de plaquettes par cycle ; $Y_{av\ (WiW)}$ la valeur moyenne par plaquette.
$Y_{av\ (WtoW)}$ la valeur moyenne d'une plaquette à l'autre.

Wafer to Wafer (WtW) - calcul de l'uniformité en épaisseur :

$$WtW\ (1\sigma) = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(Y_{av\ (WiW)} - Y_{av\ (WtW)})^2}$$

Avec, $Y_{av\ (WiW)}$ la valeur moyenne individuelle de chaque plaquette : $Y_{av\ (WiW)1}$, $Y_{av\ (WiW)2}$, $Y_{av\ (WiW)3}$
$Y_{av\ (WtW)}$ la valeur moyenne d'une plaquette à l'autre.
N le nombre de plaquettes par série.

Run to Run (RtR) - calcul de l'épaisseur moyenne :

$$Y_{av\ (RtR)} = \frac{1}{N}\sum_{i-1}^{N} Y_{av\ (WtW)}$$

Avec, N correspondant au nombre de séries; $Y_{av\ (WtW)}$ la moyenne de chaque série.
$Y_{av\ (RtR)}$ correspond alors à la moyenne inter-séries.

Run to Run (RtR) - calcul de l'uniformité en épaisseur :

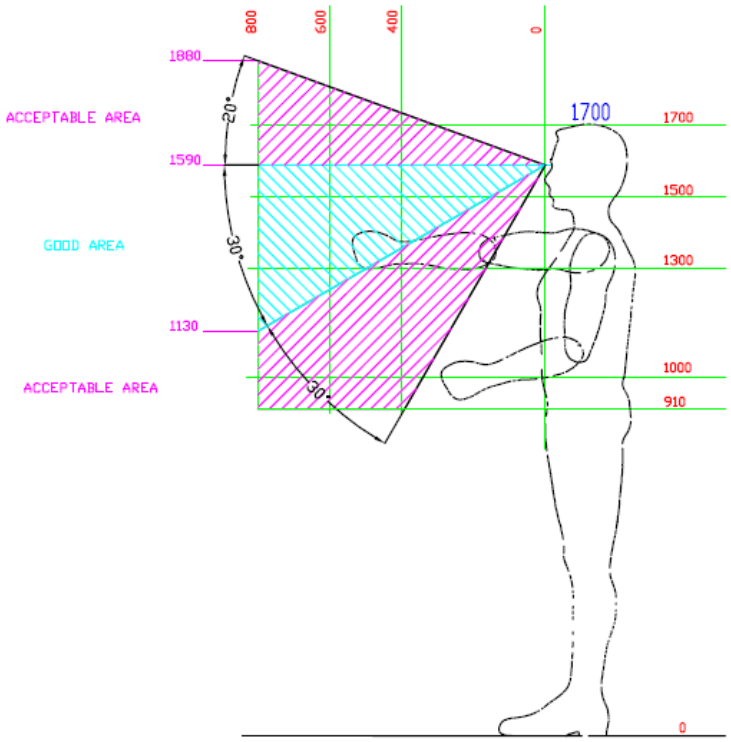
$$RtR\ (1\sigma) = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(Y_{av\ (WtW)} - Y_{av\ (RtR)})^2}$$

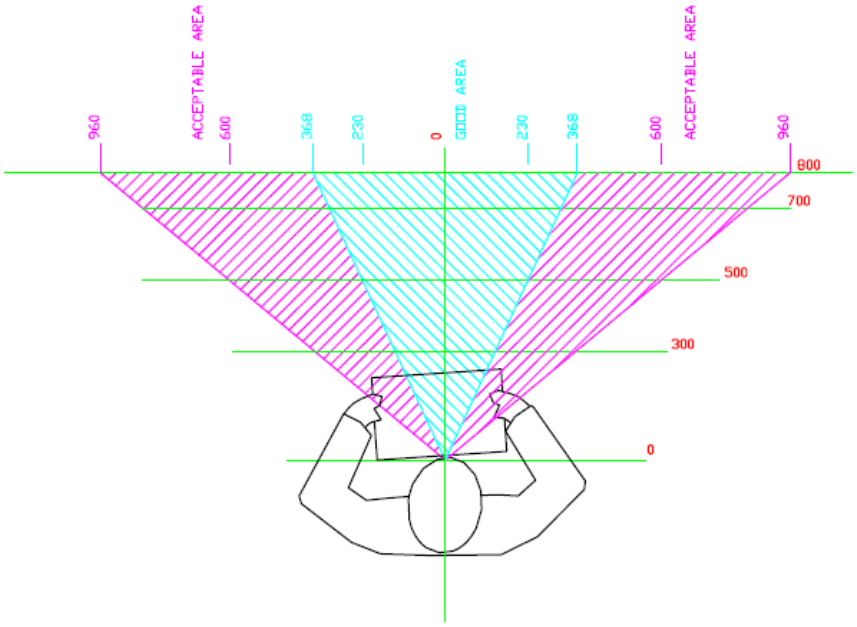
$Y_{av\ (WtW)}$ correspond à la valeur moyenne de chaque série : $Y_{av\ (WtW)1}$, $Y_{av\ (WtW)2}$, $Y_{av\ (WtW)3}$
$Y_{av\ (RtR)}$ la moyenne d'une série à l'autre.
N le nombre de séries.

ANNEXE 3 – Règles d'ergonomie

Ergonomic rules to respect

signals most frequently used must be
In the " good area "



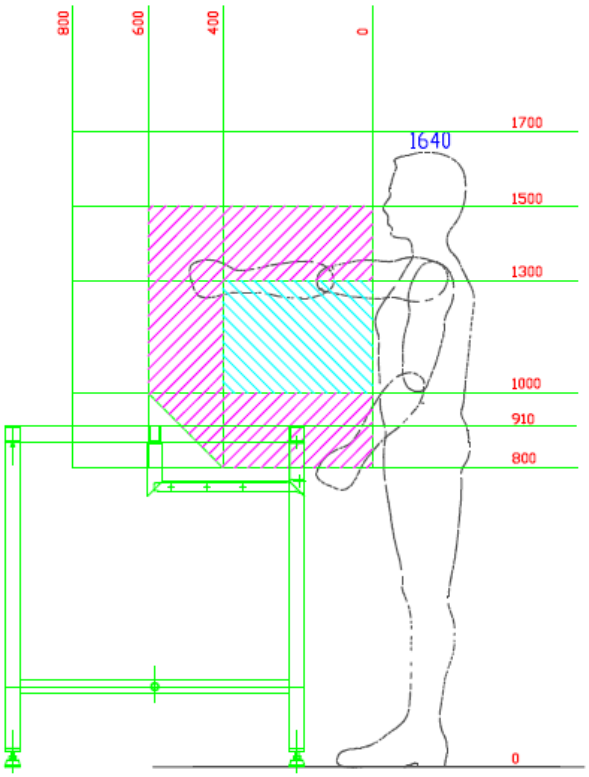


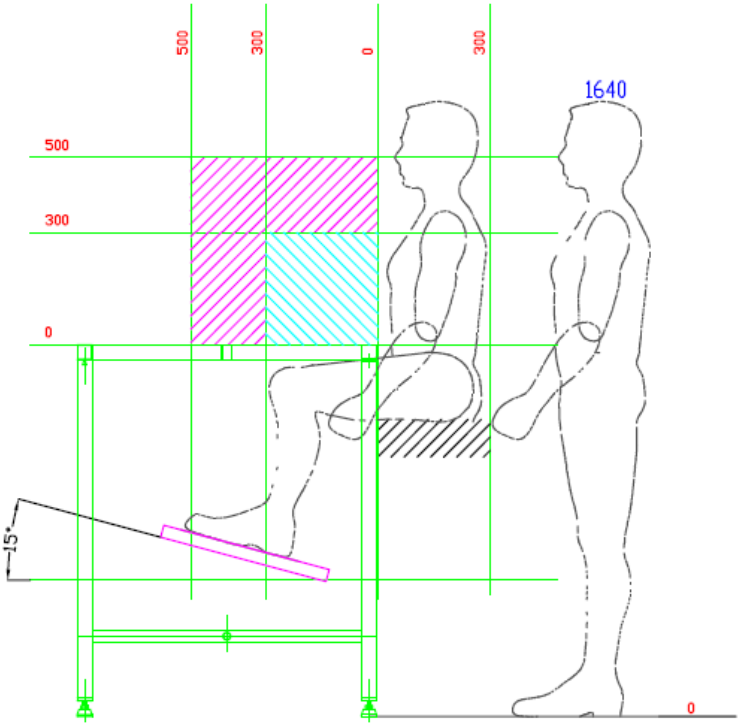
See standard ISO 14738

Unit : millimeter (mm)

ANNEXE 3 SUITE

Ergonomic rules to respect



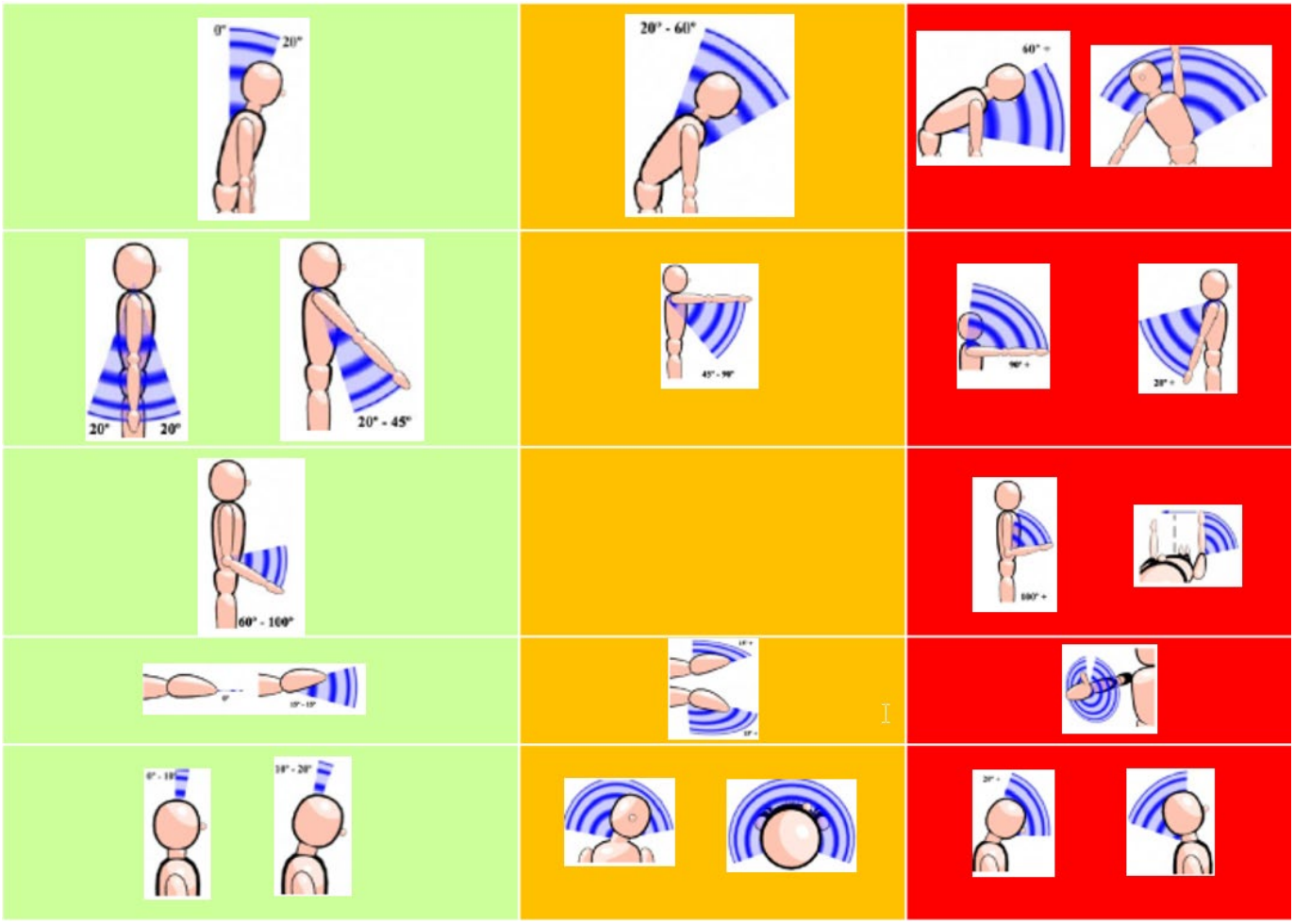


See standard ISO 14738

Unit : millimeter (mm)

ANNEXE 3 SUITE

Angles de flexion acceptables :



ANNEXE 4 - Dossier de raccordement

Marque de l'équipement : Réf :

Nom du module :

Quantité	**Poids (Kg)**	**Sensible aux vibrations**	**Bruit (dB)**	**Encombrement (mm) L x l x h**	**m²**	**Réseau informatique**

Electricité			
Tension (VAC)	Intensité (A)	Puissance (Kva)	Specif. Elec (nombre de phases - neutre-terre - frequence - ondulé - …)

Produits chimiques		
Nom	Type de connexion	Conso

Récupération (bidon, H2SO4 -…)		
type de récup	type de connexion	rejet (l/min)

Effluents		
Drain	Type de connexion	Rejet (l/min)

Fluides					
Nom	Pression (bar)	Pression retour (bar)	type de connexion	conso (l/min)	Spécif (Résistivité - t° - …)

Exhaust				
Type d'exhaust	Usage	Type de connexion	conso (m3/h)	spécif (chauffé,...)

Gaz Process				
Nom des gaz	Pureté	Pression (bar)	Type connexion	Conso process (slm)

Gaz Neutre						
Nom du gaz	Usage	Pureté	Pression (bar)	Type de connexion	Conso (l/min)	Conso max (l/min)