

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES

en vue de l'achat d'un système d'assemblage de composants par la méthode flip-chip (Flip-chip bonder)

Sommaire :

1.	Objet de la consultation	3
2.	Cahier des charges techniques	3
2.1.	Aspects généraux.....	3
2.2.	Aspects de sécurité	4
2.3.	Aspect environnemental	4
2.4.	Caractéristiques et fonctions exigées de la machine	4
2.4.1.	Procédés de collage exigés	5
2.4.1.1.	Procédé thermocompression	5
2.4.1.2.	Procédé thermosonique	6
2.4.1.3.	Procédé eutectique.....	7
2.4.1.4.	Procédé adhésif (thermique et ultraviolet)	7
2.4.1.5.	Procédé brasage (composants électroniques).....	7
2.4.2.	Caractéristiques des têtes de bonding (Bonding head).....	8
2.4.3.	Caractéristiques du porte-substrat (Substrate chuck)	8
2.4.4.	Platines de positionnement XY	8
2.4.5.	Outillage	9
2.4.5.1.	Outils de bonding (Bonding Head Tools)	9
2.4.5.2.	Supports pour outils de bonding (Bonding tool tray).....	9
2.4.5.3.	Supports pour cassettes (Tray support)	9
2.4.6.	Modules et fonctionnalités supplémentaires	9
2.4.7.	Contrôle de la force du collage	10
2.4.8.	Système de vision et alignement optique	10
2.4.9.	Réglage du parallélisme	10
2.4.10.	Système de contrôle de la machine	10
2.4.10.1.	Unité de contrôle et logiciels.....	10
2.4.10.2.	Interface graphique (GUI).....	11
2.4.10.3.	Hiérarchie des droits d'accès à la machine	11
2.4.10.4.	Accès au réseau	11
2.4.11.	Éléments additionnels et périphériques.....	11
3.	Modalités de test et d'acceptation de la machine	12
3.1.	Test 1 – Thermocompression Au-Au (plots de contact)	13
3.2.	Test 2 – Thermocompression Au-Au (bumps).....	13

3.3.	Test 3 – Ultrasonique Au-Au (bumps).....	13
3.4.	Test 4 – UV bonding	14
3.5.	Test 5 – Bonding automatique de petite série par thermocompression Au-Au	14
4.	Prestations de service demandées	14
4.1.	Tests de pré-acceptance, livraison, installation	14
4.2.	Formation	14
4.3.	Documentation	15
4.4.	Maintenance et support technique	15
5.	Annexe 1 Résumé des exigences pour la machine	16
6.	Annexe 2 Résumé des PSE	19

DRAFT

1. Objet de la consultation

Afin de compléter la gamme des moyens techniques, disponibles dans la centrale de technologie MIMENTO de l'institut FEMTO-ST, particulièrement dans sa ressource « *Packaging & Intégration 3D* », nous sommes à la recherche **d'une machine d'assemblage de composants de type flip-chip bonder**.

Le bonder sera un outil essentiel de montage de composants dans tous les domaines scientifiques soutenus dans la salle blanche de l'institut, notamment d'électronique, micro/nano optique, micro/nano acoustique, RF, nano photonique, micro fluidique ou micro robotique.

2. Cahier des charges techniques

Nous exposons dans les paragraphes suivants les spécificités que nous souhaitons pour cet équipement.

2.1. Aspects généraux

- L'équipement devra être neuf.
- Il sera installé dans une salle blanche de la centrale de technologie MIMENTO et donc il devra être conforme aux exigences du travail en salle blanche du point de vue de la contamination de l'air et de la sécurité du travail. La salle blanche possède les caractéristiques suivantes :
 - Température : $21 \pm 1^\circ\text{C}$, Hygrométrie : $45 \pm 5\%$, Classe : ISO7. Médias disponibles : air comprimé (8 bars), N_2 industriel et process, vide (-0.95mbar), extraction.
 - L'offre devra préciser l'ensemble des fluides (gaz, électricité) ainsi que leurs paramètres (pression, débit, tension, courant, etc.) nécessaires au bon fonctionnement de l'équipement.
- L'équipement recherché sera particulièrement bien adapté à la R&D, prototypage mais aussi à la production à petite échelle. Il s'agit d'une machine polyvalente et reconfigurable, capable de travailler en mode manuel et automatique.
- La machine sera exploitée en mode « **multi-utilisateur** ». Par conséquent, elle devra être équipée d'un logiciel intuitif, simple à maîtriser. Les procédés seront consignés dans des "recettes" ou "programmes" qui permettront d'enregistrer leurs différents paramètres. Le logiciel permettra de contrôler les droits d'accès à la machine (mode Maintenance, Ingénieur, Operateur). Il est souhaitable de contrôler l'accès aux recettes.
- La machine doit aligner et reporter précisément ($\leq 0.5\mu\text{m post-bond}$) des composants (puces) de dimension carrée comprise **entre $200\mu\text{m}$ et 50mm** sur des substrats d'une taille carrée de **2mm à 50mm** avec plusieurs techniques spécifiées, selon l'application ou le matériau utilisés.
- L'équipement devra permettre de réaliser des collages d'échantillons épais - l'épaisseur total « composant + substrat » devra être égale ou supérieure à **9mm** .
- Il sera possible de réaliser des collages sur une plage importante de température (jusqu'à 450°C) et dans deux régimes de la force : « faible force » ($\leq 10\text{N}$) et « haute force » ($\leq 1\text{kN}$). L'offre précisera la solution technique envisagée.
- La machine sera fournie avec son unité de commande, notamment un PC avec le système d'exploitation Windows (**dernière version disponible**) et les logiciels de commande et de programmation des procédés. En plus, les outils du bonding spécifiés dans ce document ainsi que des supports mécaniques nécessaires seront fournis afin d'accueillir les composants et les outils.
- L'équipement devra être compact pour minimiser la surface occupée au sol de la salle blanche (**footprint $< 1.5 \times 1.5\text{m}^2$**). L'offre devra inclure un plan d'implantation de l'équipement proposé en précisant ses dimensions.

2.2. Aspects de sécurité

La machine neuve devra répondre aux exigences des articles R4311-1 et 4, et de l'article R4312-1 du code du travail ainsi qu'à la directive machine 2006/42/CE et tous textes modificatifs.

Un matériel en provenance hors EEE, qu'il soit neuf ou d'occasion, est considéré comme neuf au sens réglementaire et devra donc répondre à ces exigences.

Le fabricant inclura dans cette offre la gestion des risques compte tenu des facteurs suivants :

- La machine sera installée dans une salle blanche et devra être compatible avec un environnement d'une zone de classe ISO 7.
- La chambre devra être fermée par une porte, de préférence coulissante vers le haut ou par une porte rotative pour minimiser l'encombrement de l'équipement.
- La porte devra être vitrée pour permettre de voir l'échantillon déposé à l'intérieur.
- La machine doit être obligatoirement équipée d'un bouton d'arrêt d'urgence.
- L'équipement sera équipé d'une chambre sécurisée (interlock) et bien éclairée, permettant le collage dans un environnement fermé tout en excluant tout risque pour l'utilisateur sans protection particulière (en mode de fonctionnement normal de la machine).

2.3. Aspect environnemental

L'équipement recherché sera conçu pour minimiser son impact écologique lors de sa fabrication et son utilisation. La démarche environnementale de l'entreprise ainsi que les aspects suivants devront être précisés dans l'offre :

- Les possibilités d'économie d'énergie (électrique et gaz) - possibilité d'arrêter et de redémarrer sans risque pour l'équipement ou mode veille.
- La réduction des coûts de fonctionnement (débit d'extraction et des divers fluides).

2.4. Caractéristiques et fonctions exigées de la machine

Configuration générale : La construction de la machine sera fondée sur le principe de l'axe vertical de bonding, comme indiqué à la figure 1. Le mouvement d'une tête de bonding (Bonding Head) sera linéaire et perpendiculaire au port substrat (Substrate chuck), ce qui limite les déviations/contraintes latérales. Structure parallélogramme en granite haute précision polie servant de références pour la tête de bonding, la platine de positionnement du porte-substrat et un microscope optique afin d'assurer la plus grande précision possible d'alignement des composants.

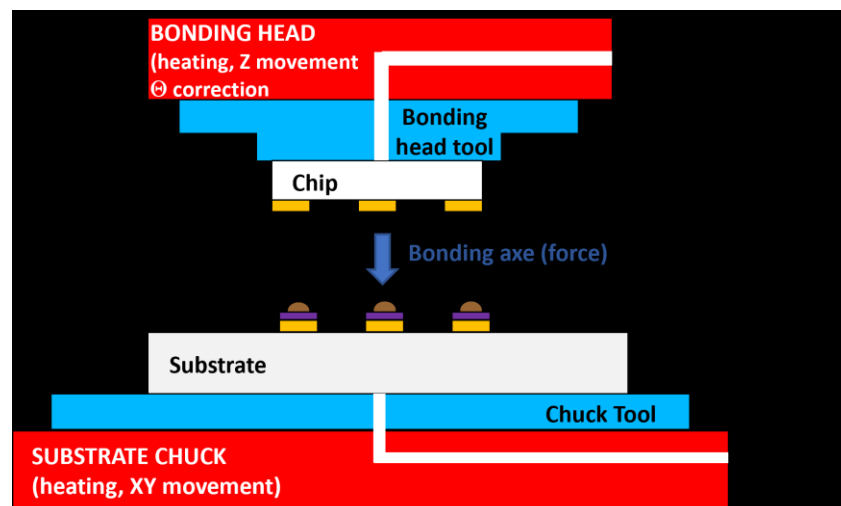


Figure 1. Exemple de la configuration classique verticale de la machine flip-chip.

Tête de bonding (Bonding Head) : Le bonder devra permettre de changer la tête de manière efficace afin de supporter des procédés de collage différents (thermocpression, thermosonique etc.).

Il sera possible d'accueillir des puces (Chips) d'une taille très variée, selon les types d'échantillon envisagés (électronique, micro/nano optique, micro/nano acoustique, RF, nano photonique, micro fluide ou micro robotique). La tête sera donc équipée d'outils de bonding interchangeables (Bonding Head Tools). L'opération de changement de l'outil de bonding sera automatique pour la tête thermocpression et peut être manuelle pour la tête thermosonique (par exemple, pour utiliser des outils non standards de type pipette). Les opérations de chargement et déchargement de puces par les têtes seront effectuées de manière automatique et programmable (préhension de puces : par le vide).

Porte-substrat (Substrate Chuck) : L'équipement devra permettre d'accueillir des substrats d'une taille très variée afin de supporter les applications différentes actuelles (de type Puce-sur-Puce, Puce-sur-PCB, Puce-sur-Flex, Puce-dans-boîtier) mais aussi les applications futures (de type Puce-sur-Wafer, voir PSE obligatoire 1). L'offre précisera le mode de chargement des substrats (manuel ou automatique) sur le porte-substrat ainsi que le mode de préhension des substrats (mécanique ou par le vide).

Chambre de confinement : Le bonder sera capable d'effectuer le collage dans l'air ainsi que sous atmosphère protectrice par gaz neutre (ex. l'azote), grâce à une chambre de confinement. Afin de préserver l'efficacité de confinement N₂, l'offre spécifiera la taille maximale de l'ouverture dans le capot de la chambre de confinement. Par conséquent, l'offre devra préciser la taille maximale d'une puce et d'un substrat pris en charge lors de procédés avec le confinement N₂, pour la tête thermocpression et (si différente) pour la tête thermosonique.

2.4.1. Procédés de collage exigés

Les procédés de collage exigés sont les suivantes :

- Procédé 1 : Thermocpression
- Procédé 2 : Thermosonique
- Procédé 3 : Eutectique
- Procédé 4 : Adhésif et ultraviolet (UV curing)
- Procédé 5 : Brasage

2.4.1.1. Procédé thermocpression

La thermocpression est une technique permettant d'hybrider 2 matériaux métalliques par diffusion en contrôlant la température et la force appliquée à la puce (Chip) et au substrat (Substrate) durant le procédé. Le porte-substrat chauffant devra permettre le maintien de petits substrats ainsi que des boîtiers. L'opération de chauffage pourra être effectuée dans l'air ainsi que sous atmosphère protectrice par gaz neutre (ex. l'azote).

Afin d'hybrider des matériaux recouverts de couches d'oxydes métalliques, l'équipement devra pouvoir effectuer un processus de micro-scrubbing sous l'ambiance de gaz neutre. Il s'agit d'un processus de traitement mécanique d'une surface, effectué par exemple par le micro-mouvement d'un porte-substrat à une fréquence et une amplitude donnée, afin de frotter les micro-bumps de soudure contre les plots de contacts dans une direction parallèle au substrat.

Le titulaire décrira le système mis en place, notamment les spécificités des matériaux utilisés pour les outils de bonding (Head, Tool, Substrate Chuck).

La machine devra présenter les caractéristiques suivantes :

- Type du collage supporté : Puce-sur-Puce, Puce-sur-Flex, Puce-dans-boîte
- Taille de puce : **de 0.2x0.2mm² au 50x50mm²**
- Taille de substrat : **de 2x2mm² au 50x50mm²**
- Température Head/Chuck:
 - Programmable de la température ambiante à **450°C à +/-1°C**,
 - Possibilité de programmer une rampe de température, en montée de **0,5 à 25°C/sec** et en refroidissement (**2°C/sec ou plus**).
- Environnement du collage : air, gaz neutre (N₂)
- Possibilité de programmer le procédé du collage avec une fonction de **micro-scrubbing**
- Capacité à exécuter une haute force de bonding : **jusqu'à 1000N**
- Matériaux des outils : SiC de préférence.

2.4.1.2. Procédé thermosonique

La technique de soudure thermosonique permet d'obtenir le contact électrique entre un composant et un substrat par une combinaison d'ultrasons (US), d'une température et d'une force appliquée. Grâce à la présence d'US, la température et force peuvent être réduites (100-160°C, (50-100g/bump) par rapport au procédé de thermocompression classique (> 300°C, 100-200g/bump). La fréquence des ultrasons est donnée par un générateur (typiquement quelques dizaines de kHz). Le composant est maintenu par aspiration sur un outil spécifique lui-même maintenu mécaniquement sur la sonotrode (élément placé entre le générateur et l'outil). La taille des composant sera typiquement limitée dans une plage de quelques mm². Le titulaire décrira le système proposé en spécifiant les caractéristiques du générateur et la qualité des matériaux utilisés (ex, outils spécifiques).

La machine devra présenter les caractéristiques suivantes :

- Type du collage supporté : Puce-sur-Puce, Puce-sur-Flex, Puce-dans-boîtier.
- Taille maximale de puce : **10x10mm²**
- Générateur d'US :
 - Fréquence des ultrasons réglable entre **30kHz et 150kHz**,
 - L'offre précisera la résolution et la précision de réglage de la puissance US au niveau hardware et software,
 - Puissance max : **de 40W à 50W**, cette puissance sera proposée par le titulaire afin d'être adaptée au procédé flip-chip « die bonding » pour un nombre de bumps faible à moyen (4 - 32 bumps), avec un pas de réglage inférieure à **50mW/bump**.
- Transducteur d'US :
 - Adapté au procédé flip-chip « die bonding » et compatible avec le générateur US proposé,
 - L'offre précisera la valeur de sa fréquence de fonctionnement et son impédance minimum.
- Force de bonding :
 - La force envisagée sera faible (**≤ 20N**, régime de « faible force »),
 - Un pas de réglage inférieure à **50mN/bump**
- Température de puce et substrat : **température ambiante** (puce) et **≤ 200°C** (substrat).
- Toutes ces données seront contrôlables par le logiciel de commande de la machine.

2.4.1.3. Procédé eutectique

Le procédé du collage eutectique est caractérisé par un mélange de deux ou plusieurs corps purs (par exemple Au-Si ou Au-Sn) qui fond à température eutectique et se solidifie à température plus basse de manière uniforme. Il est nécessaire d'avoir une très bonne uniformité et une stabilité de la température du composant/substrat ainsi qu'un très bon réglage de planéité.

Pour certains matériaux tels que l'indium/gallium ou le bismuth/étain l'hybridation devra être faite sous atmosphère de gaz neutre (typ. N₂) afin d'éviter l'oxydation (formation d'oxydes métalliques), tout en contrôlant la température et la force appliquée durant le procédé. Le titulaire décrira le système mis en place et spécifiera les accessoires nécessaires.

La machine devra présenter les caractéristiques suivantes :

- Collage possible sous atmosphère de gaz neutre (confinement N₂).
- Température de puce/substrat : de température ambiante **jusqu'à 450°C**, précision à 1°C
- Uniformité de température : $\leq 5\%$
- Force : **jusqu'à 100N**

2.4.1.4. Procédé adhésif (thermique et ultraviolet)

Le collage est effectué par microdosage d'une colle (conductrice ou non-conductrice), effectué précédemment sur une des surfaces à sceller, mise en contact contrôlée entre la puce et le substrat (vitesse, force, séparation) et polymérisation de la colle par température/temps (collage adhésif thermique) ou par insolation ultraviolet (collage UV).

L'insolation UV exige une **source UV** qui devra être intégrée dans la chambre de la machine et pilotée par le logiciel de commande.

La machine devra présenter les caractéristiques suivantes :

- Température de collage : **de 20°C jusqu'à 200°C** en contrôlant l'alignement
- Mode d'opérationnelle 1 : contrôle de la force appliquée (**régime de faible force $\leq 10N$**)
- Mode d'opérationnelle 2 : contrôle de la séparation puce-substrats lors du collage
- Source de UV : de type pinceau LED ; intégrée dans la chambre, $\lambda=365nm$
- La dépose de la colle par système de microdosage sera indépendante de l'équipement demandé dans ce marché.

2.4.1.5. Procédé brasage (composants électroniques)

Le brasage est une soudure entre les métaux du composant et du substrat, le métal ou l'alliage devra pouvoir être fondu à une température pouvant atteindre 350°C.

La machine devra présenter les caractéristiques suivantes :

- Température de collage : **jusqu'à 350°C**, résolution 1°C
 - en contrôlant un profil de température et l'alignement,
 - préciser le nombre de step possible pour un profil de température
- Force : **jusqu'à 10N**
- Collage possible sous atmosphère de gaz neutre (confinement N₂)
- Il est souhaité d'avoir un relevé de positionnement en hauteur du composant par rapport au substrat durant l'opération d'assemblage.

2.4.2. Caractéristiques des têtes de bonding (Bonding head)

La machine sera équipée de deux têtes échangeables :

- Tête de thermocompression
- Tête thermosonique

La tête devra présenter les caractéristiques suivantes :

- Système de maintien de la puce (préhension) : **par le vide** avec l'outil interchangeable
- Système de chauffage de puce : **électrique**
- Taille de puce compatible :
 - de **0.2x0.2mm² au 50x50mm²** (tête thermocompression)
 - de **0.2x0.2mm² au 10x10mm²** (tête thermosonique)
- Changement de la tête : **manuel**
 - Procédure de changement de têtes sera décrite en détails dans la documentation fournie avec la machine.
 - L'opération de changement de têtes sera incluse dans le programme de formation, assuré par le titulaire sur le site.
- Chargement / déchargement des puces : **automatisé à partir d'une cassette** (Chip tray)

2.4.3. Caractéristiques du porte-substrat (Substrate chuck)

Le porte-substrat devra présenter les caractéristiques suivantes :

- Porte-substrat équipé d'outil interchangeable
- Matériel d'outil interchangeable : SiC, de préférence.
- Dimensions d'outil interchangeable : **50 x 50 mm²**.
- Système du chauffage du substrat :
 - Type de chauffage : **électrique**
 - Plage de température : **20-450°C**
 - Préciser l'uniformité de température sur la surface du porte-substrat.
- Système de maintien de substrats : préciser le mode de préhension (**par le vide, de préférence**)
- Porte-substrat équipé d'un système de chauffage du substrat sous **atmosphère protectrice** par gaz neutre (ex. l'azote).
- Taille de substrat : de **2x2mm² au 50x50mm²**
- Epaisseur totale « composant + substrat » : jusqu'à **9mm ou plus**.
- Chargement / déchargement du substrat : préciser le mode de chargement.
- Système de maintien sera capable, après une mise à niveau éventuelle, de maintenir des substrats de type **boîtiers standards** (par le vide ou mécaniquement).

PSE obligatoire 1 : L'Équipement devra être reconfigurable pour effectuer dans le futur le collage de type Puce-sur-Wafer. Il sera alors possible d'accueillir des substrats ronds (wafers) de la taille standard de 3/4/6 pouces grâce à l'installation d'un nouveau porte-substrat. Le titulaire spécifiera le coût du porte-substrat correspondant (de type 200x200mm²).

2.4.4. Platines de positionnement XY

La machine sera équipée au minimum d'une platine XY pour le positionnement précis du porte-substrat (Substrate Chuck) ainsi que d'une pour le positionnement d'un microscope optique. Prenant en compte l'option 1, les courses XY des platines seront compatibles avec l'application future de Puce-

sur-Wafer.

Les caractéristiques demandées :

- Course XY demandée pour le porte-substrat : min. 280 mm
- Course XY demandée pour le microscope : min. 130 mm

2.4.5. Outillage

2.4.5.1. Outils de bonding (Bonding Head Tools)

Le titulaire spécifiera, si possible, une liste des outils standards disponibles ainsi que leurs caractéristiques techniques, notamment le matériau utilisé, la planéité et la rugosité.

Le tableau suivant indique les outils de bonding exigés et compris dans l'offre selon le type de tête.

Type de tête	Outil 1	Outil 2	Remarques
	Taille d'outil		
Thermocompression	2 x 2mm ²	3 x 6mm ²	Outils avec piédestal Matériel : SiC, de préférence
	Taille de puce		
Thermosonique	2 x 2mm ²		Outil de type pipette Matériel : WC, de préférence

2.4.5.2. Supports pour outils de bonding (Bonding tool tray)

Le bonder sera équipé de support mécanique pour accueillir les outils de bonding (Bonding Head Tool) de type piédestal dont les paramètres de positionnement enregistrés permettent une automatisation de leurs chargements.

- Nombre minimal des outils à stocker : 3
- Compatibilité de supports avec les outils de bonding de type « piédestal »

2.4.5.3. Supports pour cassettes (Tray support)

Le bonder sera équipé de support pour installer des cassettes standards (Component Trays) et des cassettes de type Vacuum Release Tray (retrait assisté par le vide) : le système d'aspiration devra être inclus dans l'offre de base.

- Possibilité d'installer 2 cassettes de 4"
- Possibilité d'installer 4 cassettes de 2" (les éventuels adaptateurs seront inclus dans l'offre)

2.4.6. Modules et fonctionnalités supplémentaires

- **Ionisateur pour la protection ESD** : la machine sera équipée d'un ionisateur (ionizer bar) pour un traitement des composants contre les phénomènes de déchargement électrostatique.
- **Flipper de puces** : Un module de retournement de composant sera intégré dans la machine. Ce module géré par le logiciel de commande permettra de présenter le composant avant le scellement selon la face choisie.

2.4.7. Contrôle de la force du collage

La machine sera équipée d'un système de contrôle de la force du collage. Vu les exigences différentes des procédés de collage envisagés en termes de force, le titulaire proposera une solution technique qui permettra d'avoir un bon contrôle de la force à la fois dans les deux régimes envisagés (cf ci-dessous).

- Régime de basse force : $\leq 10\text{N}$, un pas de réglage de la force d'au moins $\leq 50\text{mN}$
- Régime de haute force : $\leq 1000\text{N}$ (collage thermocompression)
- Le titulaire spécifiera la solution proposée (capteur avec une sensibilité programmable par exemple, ou plusieurs capteurs et dans ce cas méthode de passage d'un capteur à l'autre).

2.4.8. Système de vision et alignement optique

Pour tous les procédés envisagés, l'alignement doit se faire par caméra(s) à haute définition, visualisant en temps réel les marques d'alignement sur une puce et un substrat (fonction « split vision »).

Le système d'alignement optique devra présenter les caractéristiques suivantes :

- Il est demandé d'avoir une précision d'alignement $\leq \pm 0.5\mu\text{m}$ après collage (post-bond accuracy).
 - Vu que la précision d'alignement dépend de plusieurs facteurs (ex. technique du collage, qualité de marques d'alignement, gamme de température, expérience d'opérateur, etc.), ce paramètre sera vérifié dans les conditions optimales, spécifiées par le titulaire.
- Le logiciel permettra l'**alignement manuel ainsi que complètement automatique** avec une fonction de reconnaissance d'image (pattern recognition).
- Le logiciel permettra l'utilisation des **fichiers CAO** ou graphiques (importation de fichier externe) afin de déterminer plus facilement le lieu de placement d'un composant.
- De plus, **une caméra supplémentaire à large champ de vue** sera intégrée dans la chambre pour faciliter le processus d'alignement et pour observer des composants lors du processus de scellement. La caméra « large champ » sera contrôlée par le logiciel de commande afin de prendre des photos et des vidéos.

2.4.9. Réglage du parallélisme

Le réglage du parallélisme devra être effectué de manière **automatique** par une méthode optique.

- Le parallélisme sera réglé entre **la tête et le porte-substrat**.
- La plage de réglage sera de : $\pm 1^\circ$ ou plus, et la résolution de $50\mu\text{rad}$ ou moins.
- Le réglage du parallélisme devra être garanti aussi bien en régime « faible force » qu'en régime « haute force ».
- Un kit de calibration sera inclus dans l'offre et fourni par le titulaire.

2.4.10. Système de contrôle de la machine

2.4.10.1. Unité de contrôle et logiciels

L'unité de contrôle devra assurer la gestion des principaux composants du système, visualisation sur l'écran des paramètres, création et exécution de différents programmes (recettes) de collage ainsi que l'enregistrement des paramètres clés lors de la réalisation d'un procédé (températures puce/substrat, force appliquée, position Z d'une tête).

L'offre inclura une unité de contrôle avec un ordinateur (PC), un écran tactile (min. 23") et une interface graphique (GUI), travaillant sous un environnement Windows (**dernière version disponible**).

- La mise à jour des logiciels de contrôle et de pilotage se fera à titre gracieux pendant au moins cinq ans.
- L'offre précisera les modalités pour en bénéficier après cette période (coût, moyens d'installation, fréquence de mise à niveau).
- Tous les disques d'installation et les licences du système d'exploitation de l'ordinateur ou des logiciels installés nécessaires à l'exploitation de la machine devront être fournis.

2.4.10.2. Interface graphique (GUI)

Compte tenu du fait que la machine sera utilisée en mode multi-utilisateurs, le logiciel GUI devra être conviviale et intuitif. Les caractéristiques suivantes du logiciel GUI seront évaluées pour servir à l'appréciation de l'offre :

- Possibilité de stockage de recettes dans un répertoire librement choisi par un opérateur (pas dans un seul répertoire dédié).
- Possibilité de prendre des photos et des vidéos d'une puce lors de la réalisation d'un procédé.
- Capacité d'évolution du logiciel afin de répondre à d'éventuels besoins spécifiques de la centrale MIMENTO dans l'avenir.

2.4.10.3. Hiérarchie des droits d'accès à la machine

Le logiciel devra permettre de contrôler les droits d'accès machine :

- Accès aux fonctionnalités de la machine (mode de travail), suivant le type d'utilisateur, par exemple : Maintenance, Ingénieur, Operateur simple, etc.
- L'offre précisera la procédure de connexion pour chaque mode – utilisation d'un login commun ou spécifique aux utilisateurs ?

Il est souhaitable de contrôler l'accès aux recettes - droits de visibilité ou de modification des recettes différentes suivant les modes de travail.

2.4.10.4. Accès au réseau

Dans la mesure du possible, la machine sera équipée de deux cartes réseaux : un port de communication doit être disponible pour l'interfaçage avec le réseau interne de FEMTO-ST, un autre port sera réservé pour l'accès à l'extérieur.

- La machine devra autoriser l'accès à l'extérieur (Internet) ou le contrôle externe par un logiciel de type Virtual Network Control (VNC) et l'utilisation du logiciel adapté.
- L'ordinateur pourra être reconfiguré par le service informatique de FEMTO-ST afin d'être compatible avec l'administration actuelle de son réseau.

2.4.11. Éléments additionnels et périphériques

Le fabricant inclura et détaillera dans l'offre tous les éléments ou dispositifs supplémentaires nécessaires pour le bon fonctionnement de la machine conformément aux normes d'installation et de fonctionnement de ce type d'équipement.

En raison de l'espace disponible limité, la machine devra être compacte avec une petite empreinte au sol (**footprint** < 1.5x1.5m²). Les dimensions de la machine et le poids de l'équipement devront être indiqués dans l'offre. Préciser les conditions à respecter pour leur installation (ex. distances maximales

ou minimales d'éloignement pour les accès de maintenance).

3. Modalités de test et d'acceptation de la machine

Il est rappelé ici que la réception définitive du matériel et le règlement du solde afférent se feront à la condition expresse que les paramètres et performances des procédés décrits ci-après soient respectés sensu stricto.

La conformité de l'équipement devra être confirmée par la réalisation de 4 procédés, qui correspondent aux techniques de collage demandées (Chapitre 2.4.1). Les dispositifs des tests (véhicule d'essais), décrits ci-dessous, seront fournis par FEMTO-ST. Les recettes développées durant les tests devront être fournis à FEMTO-ST au moment de l'acceptation de la machine.

Description détaillée du véhicule d'essais :

- Type de matériau Puce/Substrat : 1) **Silicium**, 2) **Silice fondu (Corning 7980)**
- Type de métallisation puce/substrat : Ti/Ni/Au, 20/100/350nm, pulvérisation
- Dim. de puce : $2 \times 2 \text{ mm}^2$, $500 \mu\text{m}$ d'épaisseur,
- Dim. de substrat : $10 \times 10 \text{ mm}^2$, $500 \mu\text{m}$ d'épaisseur
- **Type de connexion 1** : plots de contact (bonding pads)
 - Nombre de plots par puce : 6
 - Dimensions de plots : $250 \times 250 \mu\text{m}^2$
- **Type de connexion 2** : plots de contact avec bumps en Or (Au stud bump).
 - Nombre de bumps par puce : 6
 - Dimensions de bump : diamètre de $60 - 80 \mu\text{m}$, hauteur de $60 - 80 \mu\text{m}$.
- Chaque structure de test possèdera deux croix d'alignement et des motifs spécifiques pour effectuer l'alignement et pour mesurer les déviations d'alignement en X/Y après le collage.

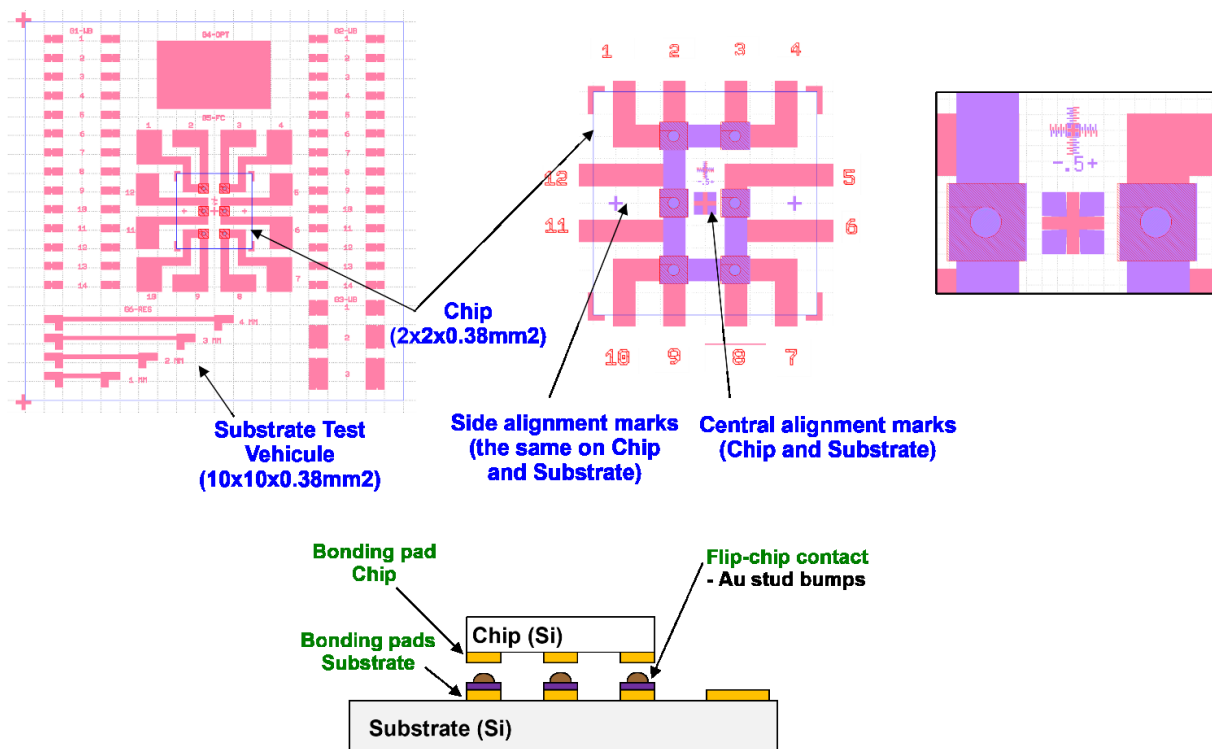


Figure 2. Véhicule d'essai envisagé pour les tests d'acceptation.

3.1. Test 1 – Thermocompression Au-Au (plots de contact)

Il sera demandé de réaliser le procédé du collage par thermocompression Au-Au entre une puce et un substrat en Silice Fondu du véhicule d'essais (Figure 2) **via des plots de contact** (connexion de type 1). Cette opération sera effectuée en mode **automatique (reconnaissance d'image)**. La force appliquée sera comprise entre 100 - 200g /plot et la température comprise entre 350 - 400°C.

Résultat attendu :

- Contrôle de la précision d'alignement (post-bond accuracy) : $\leq 0.5\mu\text{m}$ (par microscope optique).
- Succès par mesure de la continuité électrique réalisée avec un micro-ohmmètre ; la résistance électrique totale attendue sur 6 interconnexions (daisy chain) $< 1.6\Omega$, soit $< 270\text{m}\Omega/\text{connexion}$
- Contrôle mécanique destructif du joint par le test de cisaillement (micro shear test) ; la résistance mécanique attendue : $> 60\text{g}/\text{connexion}$.

3.2. Test 2 – Thermocompression Au-Au (bumps)

Il sera demandé de réaliser le procédé du collage par thermocompression Au-Au entre une puce et un substrat en Silicium du véhicule d'essais (Figure 2) **via des bumps en Or**. Cette opération sera effectuée en mode semi-automatique **avec l'alignement manuel**. La force appliquée sera comprise entre 100 - 200g /bump et la température comprise entre 350 - 400°C.

Résultat attendu :

- Contrôle d'uniformité d'un gap puce-substrats (microscope optique).
- Succès par mesure de la continuité électrique réalisée avec un micro-ohmmètre ; la résistance électrique totale attendue sur 6 interconnexions (daisy chain) $\sim 1.6\Omega$, soit $\sim 270\text{m}\Omega/\text{connexion}$
- Contrôle mécanique destructif du joint par le test de cisaillement (micro shear test) ; la résistance mécanique attendue : $\sim 60\text{g}/\text{connexion}$.

3.3. Test 3 – Ultrasonique Au-Au (bumps)

Il sera demandé de réaliser le Test 2 mais par la technique thermosonique afin de démontrer la possibilité de réduire la force et la température du procédé. Cette opération sera effectuée à plus faible force de collage (à déterminer) et à température inférieure à 180°C.

Résultat attendu :

- Contrôle d'uniformité d'un gap puce-substrats par un microscope optique
- Succès par mesure de la continuité électrique réalisée avec un micro-ohmmètre ; la résistance électrique totale devra être comparable avec celle obtenue par la technique de thermocompression.
- Contrôle mécanique du joint par le test de cisaillement. La résistance mécanique devra être comparable avec celle obtenu par la technique de thermocompression.

3.4. Test 4 – UV bonding

Il sera demandé de réaliser un collage UV de deux composants du véhicule d'essai en Silice Fondue (type de connection 1 - avec plots de contact), en utilisant une colle optique et une source UV intégrée dans la machine (pinceau LED).

Résultat attendu :

- Contrôle de la source UV assuré par le logiciel de commande.
- Contrôle mécanique du joint par le test de cisaillement.

3.5. Test 5 – Bonding automatique de petite série par thermocompression Au-Au

Il sera demandé de réaliser le Test 1 de manière complètement automatique sur une petite série de composants (10 puces sur 1 substrat). La machine sera programmée pour effectuer l'ensemble des étapes, notamment prendre chaque puce d'une cassette, effectuer l'alignement automatique, et puis obtenir l'hybridation des composants selon les paramètres donnés.

Résultat attendu :

- Succès par réalisation d'un procédé automatique avec l'alignement automatique.
- Contrôle non destructif d'uniformité d'un gap puce-substrats par un microscope optique.
- Contrôle mécanique destructif (test de cisaillement) – répétabilité du collage.

4. Prestations de service demandées

4.1. Tests de pré-acceptance, livraison, installation

- Des tests de pré-acceptance de l'équipement, organisés par le titulaire dans l'usine avant la livraison, sont envisageables. Ils seront compris dans l'offre.
- La livraison, le déchargement de la machine du camion (pas de quai de déchargement disponible), la mise en place en salle blanche dans les locaux de FEMTO-ST et la mise en route de l'équipement seront compris dans l'offre.

Lieu de livraison : FEMTO - ST / Centrale de technologie MIMENTO,
Bâtiment « TEMIS Innovation - Maison des Microtechniques »
18 rue Alain Savary, 25000 Besançon, France

4.2. Formation

- La formation sera **obligatoirement incluse dans son offre**.
- La formation sera organisée sur le site de livraison (salle blanche MIMENTO, FEMTO-ST) à la réception du matériel.
- Le titulaire proposera un programme de formation pour max **3 personnes**.
- Nombre de jours minimum consacrés à ces tâches de formation : **3 journées complètes**.

La formation devra porter sur les points suivants :

- Configuration de la machine – installation des têtes de bonding et du porte-substrat.

- Utilisation de la machine afin de réaliser les procédés de collage dans les modes manuel et automatique : programmation de procédé - création des programmes, définition des paramètres, alignement manuel et automatique etc.
- Procédures particulières de réglage : parallélisme, précision d'alignement.
- Maintenance de premier niveau.

4.3. Documentation

- La documentation (en français ou en anglais) sera incluse dans l'offre.
- Une notice d'utilisation simplifiée sous la forme d'un document plastifié (compatible salle blanche) devra être fournie.
- L'ensemble de la documentation (certificat de conformité, notice d'utilisation, description des principales tâches de maintenance, plans mécaniques et électriques) devra être fourni en version numérique (clé USB).

4.4. Maintenance et support technique

L'équipement recherché étant destiné à des applications de recherche multi-utilisateurs, une importance particulière sera portée aux conditions de maintenance qui pourront être proposées par le titulaire. Celui-ci devra démontrer dans l'offre qu'il est capable de garantir une très bonne réactivité en cas de panne ou dysfonctionnement.

Maintenance préventive - l'offre détaillera la procédure d'entretien, notamment :

- Les modalités d'un contrat de maintenance préventive après la garantie. Les détails des opérations devront être inclus dans l'offre.
- Le nombre de visite de maintenance préventive annuelle nécessaires au bon fonctionnement de l'équipement y compris pendant la période de garantie.
- Les modalités d'un contrat de maintenance préventive après la garantie.

Maintenance corrective

L'offre précisera les conditions d'intervention pour la réparation sur site :

- Coût d'une intervention corrective sur site.
- Réactivité – le délai d'intervention assuré sous contrat ou hors contrat.

Support technique

L'offre précisera les informations suivantes :

- Les jours et heures d'ouverture du site assurant le SAV
- La possibilité de prise en main de la machine à distance et hotline.
- Les modalités de mise à jour du logiciel après la période de la garantie (par exemple, moyens d'installation, fréquence des mises à jour etc.).

5. Annexe 1 Résumé des exigences pour la machine

Aspects de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible avec un environnement d'une salle blanche (classe ISO 7) • Porte vitrée, de préférence coulissante vers le haut ou une porte rotative. • Chambre sécurisée et bien éclairée, pas de risque pour l'utilisateur en mode de fonctionnement normal de la machine. • Bouton d'arrêt d'urgence. 		
Aspects environnemental	<ul style="list-style-type: none"> • Conçu pour diminuer son impact écologique lors de sa fabrication et son utilisation - les économies d'énergie (électrique et gaz), la réduction des coûts de fonctionnement. 		
Caractéristiques et fonctions exigées	<ul style="list-style-type: none"> • Configuration générale : <ul style="list-style-type: none"> ○ Axe de bonding : vertical ○ Structure parallélogramme en granite haute précision • Têtes de bonding interchangeable (pour procédés différents) • Port-substrat interchangeable (pour des applications futures) • Chambre de confinement N₂ 		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Procédés de collage exigés	<ul style="list-style-type: none"> • Procédé 1 : Thermocompression 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ T max = 450°C (puce, substrat) ➤ Force F max = 1000N ➤ Confinement N₂ ➤ Fonction micro-scrubbing 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	<ul style="list-style-type: none"> • Procédé 2 : Thermosonique 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ T max = 200°C (substrat) ➤ Taille max de puce : 10x10mm² ➤ Fréquence US du générateur : 30-150kHz ➤ Puissance US max du générateur : 40-50W ➤ Un pas de réglage de la puissance US : ≤ 50mW/bump ➤ Transducteur US adapté au procédé flip-chip « die bonding » : <ul style="list-style-type: none"> - fréquence US : ? (à proposer) - impédance minimum ? (à préciser) ➤ Force collage : F max ≤ 20N - Un pas de réglage de la force : ≤ 50mN/bump 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	<ul style="list-style-type: none"> • Procédé 3 : Eutectique 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ T max = 450°C (puce, substrat) ➤ F max = 100N ➤ Confinement N₂ 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	<ul style="list-style-type: none"> • Procédé 4 : Adhésif (thermique / UV) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ T = 20-200°C ➤ Mode 1 - contrôle de force (Fmax ≤ 10N) ➤ Mode 2 - contrôle de séparation ➤ Source UV intégrée, λ=365nm 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	<ul style="list-style-type: none"> • Procédé 5 : Brasage 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ T max = 350°C (puce, substrat) ➤ Force collage Fmax ≤ 10N ➤ Confinement N₂ 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Caractéristique des composants à traiter	<ul style="list-style-type: none"> • Taille de puce – Thermocompression : de 0.2x0.2mm² à 50x50mm² • Taille de puce – Thermosonic : de 0.2x0.2mm² à 10x10mm² • Taille de substrat : de 2x2mm² au 50x50mm² • Epaisseur de substrat : 80µm à 9mm ou plus 		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Bonding tête (bonding head)	<ul style="list-style-type: none"> • Système de maintien de puce : par le vide • Système de chauffage de puce : électrique • Chargement / déchargement de puce : automatisé (à partir d'une cassette) 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Porte-substrat (substrate chuck)	<ul style="list-style-type: none"> • Avec l'outil interchangeable • Matériel d'outil interchangeable : SiC, de préférence • Dimensions d'outil interchangeable : 50 x 50mm² • Système de maintien du substrat : par le vide, de préférence • Système du chauffage du substrat : électrique <ul style="list-style-type: none"> • Plage de température : 20 - 450°C • Confinement - chauffage sous atmosphère protectrice (N₂) • Epaisseur total « composant + substrat » : 9mm ou plus • Chargement / déchargement de substrat : manuel ou automatique <p>PSE obligatoire 1 : L'équipement devra être reconfigurable pour accueillir dans le futur des substrats ronds (wafers) de la taille standard de 3"/4"/6" grâce à l'installation d'un nouveau porte-substrat correspondant.</p>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Platines de positionnement XY	<ul style="list-style-type: none"> • Course XY demandée pour le porte-substrat : min. 280 mm • Course XY demandée pour le microscope : min. 130 mm 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Outils de préhension (Bonding tools)	<p>Outils thermocompression :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Interchangeables • Avec piédestal • Matériel : SiC, de préférence • Outil demandé 1 : 2 x 2 mm² (taille d'outil - piédestal) • Outil demandé 2 : 3 x 6 mm² (taille d'outil - piédestal) <p>Outils thermosonique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Interchangeables • Matériel : WC, de préférence • Outil demandé 1 : 2 x 2 mm² (taille de puce) 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Supports pour outils (bonding tool tray)	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre minimal des outils de bonding à stocker : 3 • Compatibilité avec les outils de bonding de type « piédestal » 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Supports pour cassettes (Tray support)	<ul style="list-style-type: none"> • Compatibilité avec des cassettes standards (Component Tray) • Compatibilité avec des cassettes Vacuum Release Tray • Possibilité d'installer 2 cassettes de 4" • Possibilité d'installer 4 cassettes de 2" (les éventuels adaptateurs seront inclus dans l'offre) 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Modules et fonctionnalités supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> • Ionisateur pour la protection ESD • Flipper de puces 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Contrôle de la force du collage	<ul style="list-style-type: none"> • Plage importante de la force du collage : jusqu'à 1000 N • Régime de basse force : ≤ 10N, <ul style="list-style-type: none"> ○ un pas de réglage d'au moins ≤50mN • Régime de haute force : ≤ 1000N • Solution avec plusieurs capteurs de force ? 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

	<ul style="list-style-type: none"> • Solution avec un seul capteur et la sensibilité programmée ? • Autre solution ? 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Système vision d'alignement puce-substrat	<ul style="list-style-type: none"> • Précision d'alignement $\leq \pm 0.5\mu\text{m}$ après collage (post-bond accuracy). • Observation de la puce et du substrat simultanément en temps réel (fonction split-vision). • Alignement manuel et complètement automatique avec une fonction de reconnaissance d'image (pattern recognition). • Utilisation des fichiers CAO ou graphiques (importation de fichier externe) afin de déterminer plus facilement le lieu de placement d'un composant. • Caméra supplémentaire à large champ de vue, sera intégrée dans la chambre. 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Réglage du parallélisme	<ul style="list-style-type: none"> • Réglage du parallélisme, automatique par une méthode optique. • Réglage du parallélisme : entre la tête et le porte-substrat • Plage de réglage $\pm 1^\circ$ ou plus. • Résolution de réglage de $50\mu\text{rad}$ ou moins • Kit de calibration inclus 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Unité de contrôle et logiciels	<ul style="list-style-type: none"> • Unité de contrôle avec un ordinateur, un écran tactile (min. 23"), logiciel GUI et programmation. • Système d'exploitation : Windows (dernière version disponible) • Mise à jour des logiciels de contrôle et de pilotage se fera à titre gracieux pendant au moins 5 ans. • Modalités pour en bénéficier après cette période (coût, moyens d'installation, fréquence de mise à niveau) ? • Tous les disques d'installation et les licences du système d'exploitation de l'ordinateur ou des logiciels installés nécessaires à l'exploitation de la machine devront être fournis 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilité de stockage de recettes dans un répertoire librement choisi par un opérateur (pas dans un seul répertoire dédié) ? • Possibilité de prendre des photos et des vidéos d'une puce lors de la réalisation d'un procédé ? • Capacité d'évolution du logiciel afin de répondre à d'éventuels besoins spécifiques de la centrale MIMENTO dans l'avenir ? • Accès aux fonctionnalités de la machine (mode de travail), suivant le type d'utilisateur, par exemple : Maintenance, Ingénieur, Operateur simple, etc. ? • L'offre précisera la procédure de connexion pour chaque mode – utilisation d'un login commun ou spécifique aux utilisateurs. • Il est souhaitable de contrôler l'accès aux recettes - droits de visibilité ou de modification des recettes différentes suivant les modes de travail. 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Éléments additionnels et périphériques	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensions de la machine et le poids devront être indiqués • Footprint de la machine limitée à $< 1.5 \times 1.5\text{m}^2$ 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

6. Annexe 2 Résumé des PSE

Le tableau suivant présente les PSE qui peuvent/doivent être chiffrées dans l'offre.

	Description	Paramètres demandés
PSE obligatoire 1	Configuration de l'équipement compatible pour accueillir dans le futur des substrats ronds (wafers) de taille standard de 3"/4"/6" grâce à l'installation d'un nouveau porte-substrat.	Port substrat chauffant : <ul style="list-style-type: none">• Tmax=450°C• Compatible avec wafers 3"/4"/6"• Préciser l'uniformité de la température
PSE facultative 1	Chiffrage d'une année supplémentaire d'extension de garantie, en plus de l'année de garantie minimale incluse dans le prix forfaitaire de la machine	/

DRAFT