

## CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES

### en vue de l'achat d'un système de micro usinage par laser CO<sub>2</sub> (Micro-CO<sub>2</sub>)

#### Sommaire :

1.	Objet de la consultation .....	2
2.	Cahier des charges techniques .....	2
2.1.	Aspects généraux.....	2
2.2.	Types d'usinage laser et dispositifs envisagés .....	4
2.3.	Caractéristiques et fonctions exigées de la machine .....	5
2.3.1.	Aspects de sécurité.....	5
2.3.2.	Caractéristiques géométriques des substrats à traiter.....	6
2.3.3.	Système de maintien des substrats .....	6
2.3.4.	Caractéristiques du laser CO <sub>2</sub> .....	6
2.3.5.	Système de balayage de faisceau laser.....	7
2.3.6.	Système de focalisation du faisceau laser .....	8
2.3.7.	Système vision et alignement des wafers.....	8
2.3.8.	Platine de positionnement XY .....	9
2.3.9.	Positionnement en Z .....	9
2.3.10.	Unité de contrôle et logiciels.....	10
2.3.11.	Éléments additionnels et périphériques.....	10
2.3.12.	Développement durable.....	10
3.	Fourniture d'échantillon d'essai .....	11
4.	Modalités de test et d'acceptation de la machine .....	12
4.1.	Test 1 - Polissage d'une structure individuel avec alignement local .....	12
4.2.	Test 2 - Polissage d'une matrice de structures avec alignement global.....	13
5.	Prestations de services demandées.....	14
5.1.	Livraison, installation.....	14
5.2.	Documentation .....	14
5.3.	Formation .....	14
5.4.	Maintenance et support technique.....	14
6.	Annexe 1 Résumé des exigences pour la machine .....	16
7.	Annexe 2 Résumé des options facultatives.....	18
8.	Annexe 3 Tableau d'autoévaluation des spécifications techniques .....	19

## 1. Objet de la consultation

Afin de compléter la gamme des moyens de micro-fabrication disponibles dans la centrale de technologie MIMENTO de l'Institut FEMTO-ST, particulièrement dans sa ressource « *3D Laser Microfabrication* », nous sommes à la recherche **d'un système de micro usinage par laser CO<sub>2</sub>**.

Le système laser sera dédié principalement au polissage précis de surface des microstructures par fusion locale obtenu grâce au balayage d'un faisceau laser CO<sub>2</sub> selon une trajectoire programmée en 3D. Les microstructures seront fabriquées dans les matériaux isolants et transparents du type verre tel que Borofloat33 ou Silice Fondue.

## 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 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), azote industriel, vide, extraction.  
**L'offre devra préciser l'ensemble des fluides (gaz, électricité) ainsi que leurs paramètres (pression, débit, tension, courant...) nécessaires au fonctionnement de l'équipement.**
- L'équipement devra être polyvalent, convenant à la recherche et à la production à petite échelle, par exemple, il permettra l'usinage sur une structure individuelle mais aussi sur une grande matrice de microstructures au niveau de wafer (multi-part process).
- Par conséquent, il s'agit d'une machine automatique dans laquelle les procédés seront consignés dans des "recettes" ou "programmes" qui permettront d'enregistrer leurs différents paramètres.
- La machine sera équipée d'un laser CO<sub>2</sub> pulsé couplé à un scanner galvanométrique de précision micrométrique pour assurer un balayage du faisceau laser dans la zone d'usinage. Il est souhaitable d'avoir le maximum de paramètres du laser réglable par l'utilisateur pour un meilleur contrôle possible sur le processus d'usinage.
- La machine sera équipée d'une platine XY motorisée pour le déplacement sur les grands substrats
- Elle aura aussi un axe Z motorisé pour permettre d'ajuster la position sur des échantillons épais
- La machine sera fournie avec son unité de commande, un PC avec un logiciel permettant la programmation d'usinages et l'exécution des différents programmes d'usinage.
- La machine devra permettre, de travailler avec des substrats de différentes tailles (jusqu'à 6" ou  $\phi=150\text{mm}$ ) et épaisseurs ( $<10\text{ mm}$ )
- Il devra être possible d'aligner précisément les motifs à usiner avec des motifs déjà présents sur la microstructure (par exemple des « croix d'alignement »)
- L'équipement devra être compact pour minimiser l'espace occupé. Il sera équipé d'une chambre d'usinage laser sécurisée (porte vers haut ou rotative) avec une fenêtre de protection (voir exemple de configuration sur la Fig.1). **L'offre devra inclure un plan d'implantation de l'équipement proposé en précisant ses dimensions.**

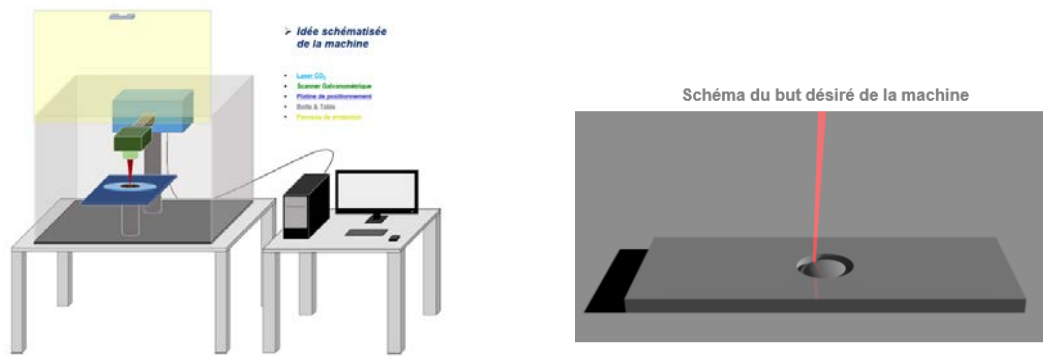


Figure 1. Exemple d'une configuration possible de la machine.

DRAFT

## 2.2. Types d'usinage laser et dispositifs envisagés

L'équipement sera dédié principalement au traitement des surfaces de microstructures, fabriquées en matériaux isolants et transparents de type verre, afin de diminuer leurs rugosités. La rugosité initiale est dans la plage de  $Ra = 80 - 400 \text{ nm}$ . La rugosité souhaitée est inférieure à  $Ra < 30 \text{ nm}$ .

Les matériaux de base pris en considération sont :

- Verre borosilicaté (Borofloat33) ou équivalent.
- Silice fondue (Fused Silica) ou équivalent.

Les dispositifs envisagés peuvent être très divers en termes de la géométrie et de la taille. La Figure 2 présente quelques exemples d'échantillons à traiter par laser  $\text{CO}_2$ . Afin de traiter des structures 3D (à l'échelle millimétrique), il sera possible de programmer une trajectoire laser en 3D.

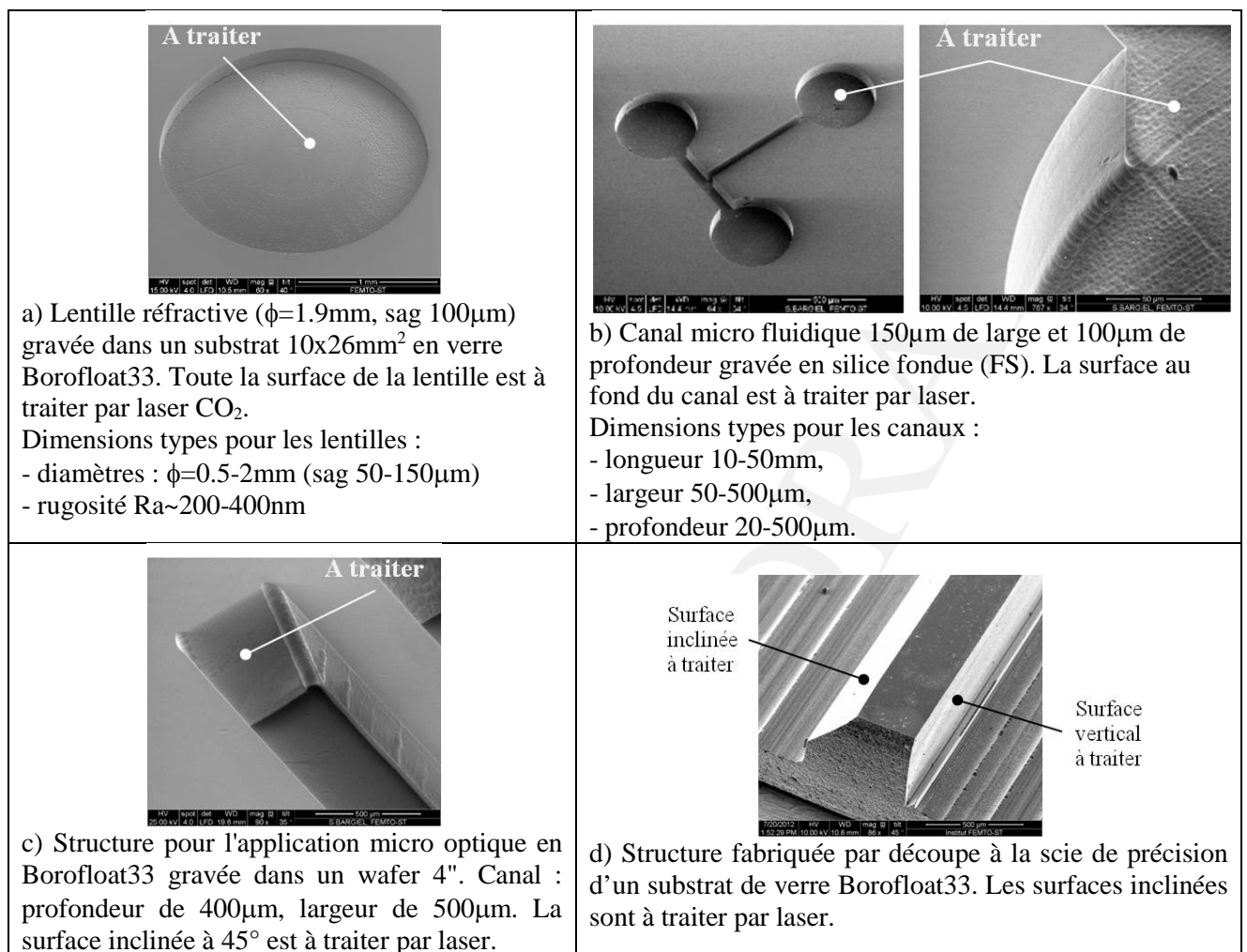


Figure 2. Exemples d'échantillons fabriqués à MIMENTO, envisagés pour le polissage par laser  $\text{CO}_2$ .

## 2.3. Caractéristiques et fonctions exigées de la machine

Ce marché concerne les éléments suivants :

- Aspects de sécurité
- Caractéristiques géométriques des substrats à traiter
- Système de maintien des substrats
- Caractéristiques du laser CO2
- Système de balayage de faisceau laser
- Système de focalisation du faisceau laser
- Système vision et alignement des wafers
- Platine de positionnement XY
- Positionnement en Z
- Unité de contrôle et logiciels
- Éléments additionnels et périphériques

### 2.3.1. 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.
- Notamment, l'équipement ne devra pas produire à l'extérieur des déchets sous forme de poudre, boue ou poussières. Dans le cas contraire, un descriptif détaillé sera fourni avec l'offre, concernant tous éléments ou accessoires additionnels nécessaires à son fonctionnement, ex. système d'aspiration d'air, de recyclage d'eau, etc.
- La chambre devra être fermée par une porte, de préférence coulissante vers le haut (Figure 1) ou par une porte rotative. Une ouverture/fermeture automatisée est préférable.
- 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 l'usinage/polissage laser dans l'environnement fermé tout en excluant tout risque pour l'utilisateur sans protection particulière (mode de fonctionnement normal de la machine).
- Le matériel de base de sécurité laser (lunettes de protection compatibles) sera fourni avec la machine pour effectuer certaines tâches essentielles de maintenance par le personnel habilité.

### 2.3.2. Caractéristiques géométriques des substrats à traiter

La machine devra être capable de traiter des substrats très divers en termes de taille.

- L'épaisseur envisagée des substrats est de 80µm à 10mm.
- Substrats standards ronds (wafers) : 2" ( $\phi=50\text{mm}$ ), 3" ( $\phi=76\text{mm}$ ), 4" ( $\phi=100\text{ mm}$ ) et 6" ( $\phi=150\text{ mm}$ ) de diamètre, polis simple face ou double face. Les wafers peuvent posséder un méplat primaire et secondaire (selon les standards SEMI).
- Substrats non standards typiques: 10x10mm<sup>2</sup>, 20x20mm<sup>2</sup>, 10x26mm<sup>2</sup>, 20x26mm<sup>2</sup>, 26x76mm<sup>2</sup>

La machine devra être capable de traiter des substrats présentant en face arrière ou/et en face avant, des usinages (ex. cavités de type membrane, V-groove, trous débouchant) résultants d'étapes technologiques précédentes.

### 2.3.3. Système de maintien des substrats

La machine sera équipée d'un système de maintien des substrats, installé sur la platine XY, afin d'éviter le risque de glissement d'un substrat lors de déplacement de la platine. Le système de maintien permettra de maintenir des substrats standards ronds (2", 3", 4", 6") avec une large gamme d'épaisseur de 80µm jusqu'à 10 mm et devra être compatible avec des substrats « percés » (excluant, a priori, les systèmes de maintien par aspiration).

L'offre devra préciser les dimensions minimales et maximales des substrats pouvant être maintenu dans l'équipement.

### 2.3.4. Caractéristiques du laser CO<sub>2</sub>

La machine sera équipée d'un laser CO<sub>2</sub> à la **puissance appropriée à l'application envisagée**. Il est demandé d'avoir le meilleur contrôle possible des paramètres du laser afin de garantir la capacité d'optimisation fine du procédé du polissage, c'est-à-dire assurant une **transition progressive** entre les régimes « aucun effet », « polissage » et « autres dommages (type craquelure, ablation, déformation...) ». Le laser proposé devra être stable en termes de puissance et de profil du faisceau pour assurer la répétabilité d'usinage. **L'offre devra contenir les spécifications du laser proposé et préciser quels paramètres sont réglables et dans quelle gamme de valeur.**

**La machine sera équipée d'un système de calibration (réglage) de la puissance du laser CO<sub>2</sub>.**

Le laser devra présenter les caractéristiques suivantes :

- Mode d'opération : pulsé
- Longueur d'onde : 9,3 - 10,6 µm

De plus, les caractéristiques suivantes du laser seront évaluées pour servir à l'appréciation de l'offre :

- Fréquence de répétition des impulsions (réglable ou non, gamme et précision)
- Durée des impulsions (réglable ou non, gamme et précision)
- Réglage de puissance : résolution en % de la puissance maximale
- Qualité de faisceau :  $M^2$  (valeur cible  $M^2 < 1,2$ )
- Stabilité de puissance : [%] sur 1h
- Durée de vie estimée du laser (en heures)
- Possibilité de générer une seule impulsion

## 2.3.5. Système de balayage de faisceau laser

La machine sera équipée d'un scanner galvanométrique de précision micrométrique permettant un balayage rapide d'un faisceau laser CO<sub>2</sub> selon une trajectoire programmée. Il est préféré d'optimiser la précision d'usinage plutôt que la vitesse.

Les caractéristiques demandées du système de balayage sont les suivantes :

- Précision de positionnement d'un spot laser :  $\leq 15\mu\text{m}$  souhaitable sur une zone de  $90 \times 90 \text{ mm}^2$
- Vitesse de balayage (mm/s) : à préciser dans l'offre (paramètre non-critique)

Lors du balayage, le faisceau laser restera perpendiculaire à la surface plane du substrat grâce au système optique avec une lentille F-Theta. Cela permet d'obtenir un polissage uniforme de la surface plane ou légèrement inclinée ( $< 20^\circ$ ) dans le champ d'usinage.

### Option facultative 1 : Possibilité d'usiner des surfaces fortement inclinées.

L'offre inclura en option la possibilité d'usiner des surfaces fortement inclinées à  $60-90^\circ$  (ex. la structure présentée dans la Figure 3). La solution technique pourrait être un goniomètre motorisé. Il sera possible de programmer l'inclinaison du substrat dans la recette d'usinage.

- Plage de réglage :  $\pm 45^\circ$  (ou plus si possible)
- Précision : moyenne  $\sim 1^\circ$  (paramètre non critique)
- Charge : petite ( $< 0.5 \text{ kg}$ )

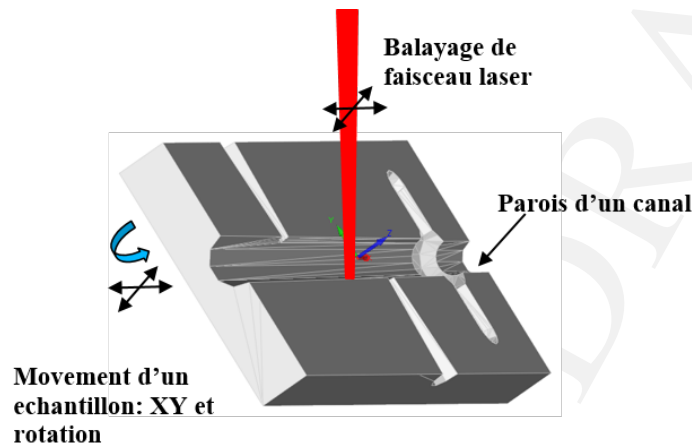


Figure 3. Polissage de la surface fortement inclinée, par exemple des parois d'un micro canal.



### 2.3.6. Système de focalisation du faisceau laser

La machine devra être équipée d'un système optique de focalisation d'un faisceau laser, basé sur une lentille de type F-Theta (flat field).

- Taille du spot laser ( $1/e^2$ ) :  $< 250\mu\text{m}$
- Taille de champ d'usinage :  $\geq 90\text{ mm} \times 90\text{ mm}$

De plus, il est souhaitable d'avoir une fonction de mise au point automatique (focus finder) pour les substrats ayant une forte variation d'épaisseur.

L'offre précisera la taille du spot laser et d'autres paramètres correspondants tels que la taille de champ d'usinage et la distance de travail.

### 2.3.7. Système vision et alignement des wafers

L'alignement précis est crucial dans le domaine de microfabrication où les structures sont fabriquées de manière collective sur un wafer (en forme de matrice) par l'enchaînement des étapes technologiques. Il est donc indispensable que les motifs à usiner par laser CO<sub>2</sub>, définis dans un fichier (programme), soient **alignés précisément** avec les motifs (par exemple les marques d'alignement) déjà existants sur une microstructure. Afin d'atteindre cet objectif, il est demandé d'avoir **un système de vision capable d'observer l'échantillon dans le même axe optique que celui du laser**.

Les caractéristiques exigées :

- Alignement en XY ainsi qu'en  $\theta$  pour compenser une rotation de substrat.
- Système vision équipé d'une caméra HD "on-axis" (TTL).
- Résolution caméra :  $> 2\text{MP}$  (5MP souhaitable, valeur à préciser dans l'offre)
- Système vision permettant d'observer la surface la plus grande possible du wafer 6" ( $\phi=150\text{mm}$ ) (fonction de vue d'ensemble) grâce au scanner galvanométrique et à l'assemblage d'images élémentaires (stitching)
- Système vision équipé d'un pointeur laser dans le visible pour permettre d'identifier visuellement la zone observée.
- Trois méthodes d'alignement sont envisagées (Figure 4).
  - Alignement basé sur l'utilisation de deux marques globales - Méthode 1
  - Alignement basé sur l'utilisation des marques locales - Méthode 2
  - Alignement direct de la zone d'usinage programmée sur l'image caméra - Méthode 3.

**L'offre devra préciser la faisabilité de chaque méthode et les contraintes éventuelles.**

- Précision d'alignement exigée : inférieure à  $\pm 15\mu\text{m}$  pour un champ d'usinage de  $80\text{ mm} \times 80\text{ mm}$  minimum



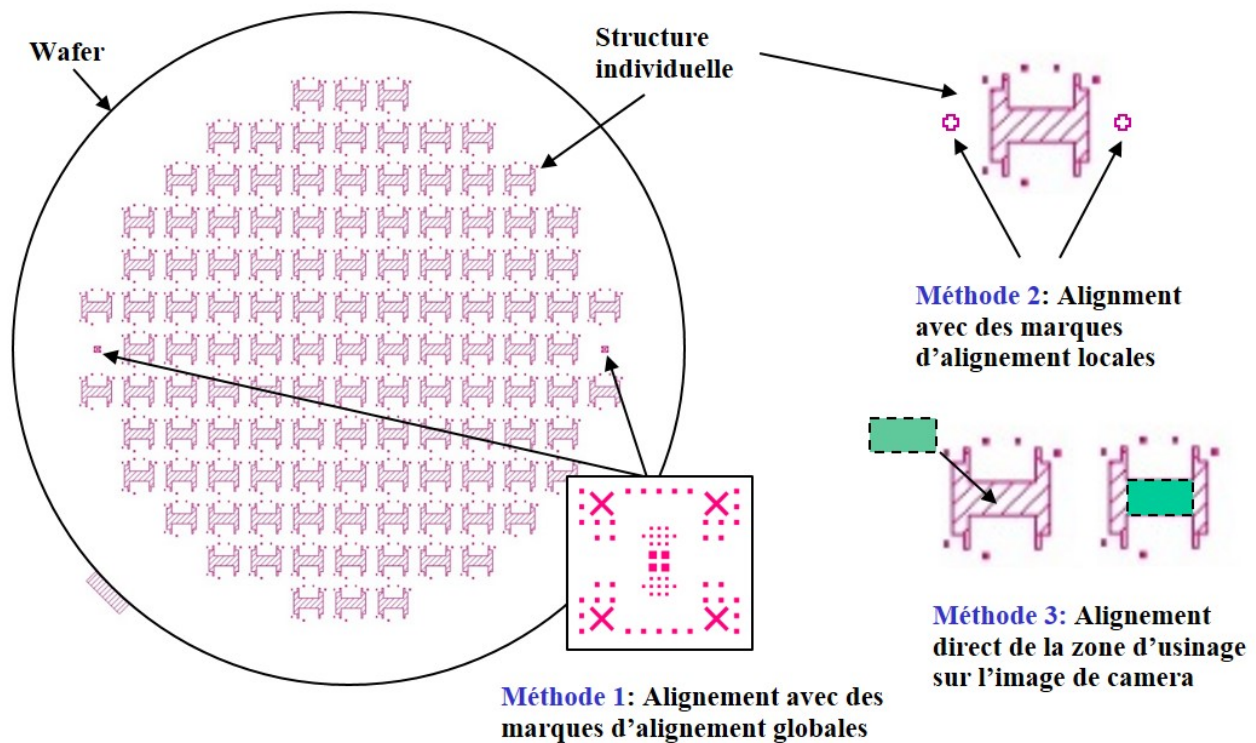


Figure 4. Trois méthodes d'alignement envisagées : 1) Alignement basé sur l'utilisation de deux marques globales - Méthode 1 (Dimensions des marques d'alignement sont à adapter (typiquement  $\leq 1.0 \times 1.0 \text{ mm}^2$ , éléments caractéristiques de  $20\text{-}100 \mu\text{m}$ ), 2) Alignement basé sur l'utilisation des marques locales - Méthode 2, 3) Alignement direct de la zone d'usinage sur l'image de la caméra - Méthode 3.

### 2.3.8. Platine de positionnement XY

La machine sera équipée d'une platine XY pour le positionnement précis de la zone d'usinage sur l'échantillon.

Les caractéristiques demandées :

- Course XY demandé : min. 150 mm
- Répétabilité : de l'ordre de  $5 \mu\text{m}$

### 2.3.9. Positionnement en Z

La machine permettra de contrôler la distance entre le substrat et le système de balayage laser (axe Z) de manière motorisée. Cette fonction devra permettre de planifier des séquences d'usinage pour différentes positions selon l'axe Z.

Les caractéristiques demandées pour l'axe Z motorisé :

- Type : électrique et programmable
- Course :  $> 100 \text{ mm}$  (objectif 300 mm, à préciser dans l'offre)
- Répétabilité de positionnement : inférieure à  $\pm 30 \mu\text{m}$

### **2.3.10. Unité de contrôle et logiciels**

L'offre inclura une unité de contrôle avec un ordinateur et écran, travaillant sous un environnement Windows récent.

L'unité de contrôle (pilotage) permettra la gestion des principaux composants du système, la visualisation des paramètres sur l'écran, la composition et l'exécution de différents programmes d'usinage.

Compte tenu du fait que la machine sera utilisée en mode multi-utilisateurs, le logiciel devra être intuitif.

Les caractéristiques suivantes du logiciel seront évaluées pour servir à l'appréciation de l'offre :

- Possibilité de créer des programmes d'usinage sur le PC de contrôle de la machine mais aussi sur d'autres postes de travail (2-3)
- Possibilité de proposer à l'avenir des évolutions du logiciel afin de répondre à d'éventuels besoins spécifiques de la centrale MIMENTO
- Possibilité d'obtenir la mise à jour du logiciel après la période de garantie
- Possibilité de créer des programmes d'usinage grâce à l'importation de fichiers CAO et graphiques, ex. de type DXF, PLT, BMP, TIFF (Si oui, préciser les formats de fichiers compatibles).
- Possibilité de travailler dans différents modes (ex. administrateur, ingénieur, opérateur)
- Possibilité de prendre des photos et des vidéos d'usinage laser.
- Possibilité de contrôler l'accès aux recettes (droits de visibilité ou de modification des recettes différentes suivant les modes de travail).

**L'offre devra préciser les modalités pour bénéficier de nouvelles mises à jour après la période de garantie (coût, moyens d'installation, fréquence sur les dernières années).**

### **2.3.11. 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.

Les dimensions de la machine et le poids de l'équipement seront indiqués dans l'offre ainsi que tous les éléments ou accessoires additionnels nécessaires pour son fonctionnement. Préciser les conditions à respecter pour leur installation (ex. distances maximales ou minimales d'éloignement pour les accès de maintenance).

### **2.3.12. Développement durable**

L'offre devra répondre aux exigences d'article 35 de la loi Climat (n° 2021-1104). Le fabricant inclura dans l'offre les caractéristique environnementales, par exemple, la gestion de transport de l'équipement, la consommation de la machine en électricité, la durée de vie du laser CO<sub>2</sub>, le recyclage de la machine en fin de vie ou d'une manière générale l'empreinte carbone de la station laser CO<sub>2</sub>.

## 3. Fourniture d'échantillon d'essai

La conformité de l'équipement aux exigences exposées dans le présent cahier des charges techniques **devra être confirmée par le polissage d'un échantillon de test.**

L'échantillon de test sera fourni par FEMTO-ST et devra être demandé au plus tard 15 jours avant la date de clôture de l'appel d'offre.

L'échantillon de test est présenté schématiquement sur la Figure 5. Il sera demandé d'effectuer le polissage de la surface au fond d'une microcavité, fabriquée sur un substrat de verre de type BF33.

- Type de substrate : **Borofloat 33**
- Dim. de substrat :  $10 \times 10 \text{ mm}^2$ ,  $500 \mu\text{m}$  d'épaisseur,  $\text{TTV} < 5 \mu\text{m}$ , polis double face
- Dim. d'une cavité :  $1.5 \times 0.5 \text{ mm}^2$ ,  $100 \mu\text{m}$  en profondeur, rugosité initiale au fond  $R_a = 300\text{--}400 \text{ nm}$

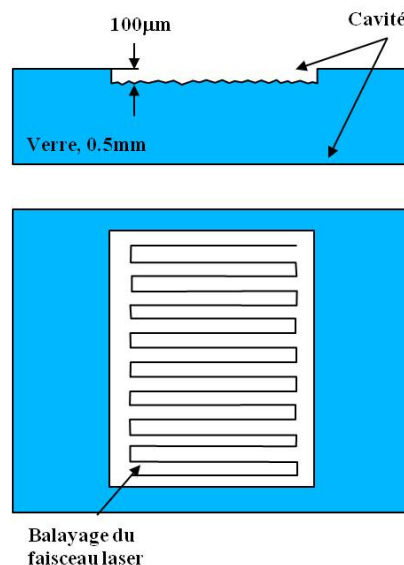


Figure 5. Structure de test avec l'exemple de balayage de faisceau laser.

L'essai devra permettre de confirmer la possibilité de :

- contrôler précisément les paramètres d'usinage pour obtenir l'effet de polissage,
- diminuer la rugosité initiale de la surface à moins de  **$R_a \leq 30 \text{ nm}$**

L'échantillon de test sera à retourner à FEMTO-ST avec la réponse à l'appel d'offre. La mesure de rugosité en fond de microcavité sera contrôlée à FEMTO-ST sur un profilomètre mécanique.

Paramètres de mesures de rugosités fixés à FEMTO-ST pour  $R_a = 20\text{--}100 \text{ nm}$  (d'après la norme NF EN ISO 4287) :

- ☐ Longueur d'évaluation :  $1250 \mu\text{m}$
- ☐ Cut-off :  $250 \mu\text{m}$
- ☐ Vitesse de scan :  $20 \mu\text{m/s}$  (62.5 s)
- ☐ Gamme :  $6.5 \mu\text{m}$
- ☐ Force :  $3 \text{ mg}$
- ☐ Pointe :  $5 \mu\text{m}$ ,  $60^\circ$

## 4. Modalités de test et d'acceptation de la machine

La conformité de l'équipement aux exigences exposées dans le présent cahier des charges techniques **devra être confirmée sur le site d'installation.**

Les tests suivant devront être réalisés pour l'acceptation de la machine :

1. Qualité du polissage sur des échantillons de test pour deux types de verre : Borofloat 33 et Silice Fondu (Corning 7980)
2. Précision d'alignement

Les dispositifs des tests, décrits au paragraphe suivant, seront fournis par FEMTO-ST.

Les paramètres d'usinage (recettes) utilisés durant les tests devront être fournis à FEMTO-ST au moment de l'acceptation de la machine.

### 4.1. Test 1 - Polissage d'une structure individuel avec alignement local

L'échantillon du test est présenté schématiquement dans la Figure 6. Il sera demandé d'effectuer le polissage de la surface au fond d'une microcavité, fabriquée sur deux substrats différenciés, sans modifier le bord de la cavité (zone d'exclusion). La rugosité de la surface usinée sera mesurée par un profilomètre mécanique.

- Type de substrate : **Borofloat 33, Fused Silica (Corning 7980)**
- Dim. de substrat :  $10 \times 10 \text{ mm}^2$ ,  $500 \mu\text{m}$  d'épaisseur,  $\text{TTV} < 5 \mu\text{m}$ , polis double face
- Dim. d'une cavité :  $1.5 \times 0.5 \text{ mm}^2$ ,  $100 \mu\text{m}$  en profondeur, rugosité initiale au fond  $\text{Ra} = 300\text{-}400 \text{ nm}$
- Zone d'exclusion :  $100 \mu\text{m}$
- Croix locales d'alignement :
  - Matériel : Cr/Au
  - Taille de  $500 \times 500 \mu\text{m}^2$ ,  $100 \mu\text{m}$  de largeur
  - Positions X-Y (relative au centre d'une structure) : à C3  $[-8 \text{ mm}, 0]$ , C4  $[8 \text{ mm}, 0]$

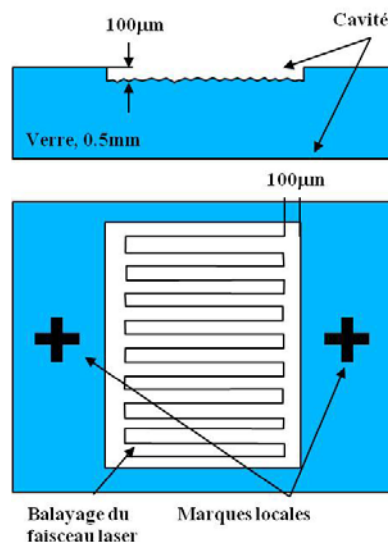


Figure 6. Structure de test avec l'exemple de balayage de faisceau laser.

L'essai confirmera la possibilité de :

- contrôler précisément les paramètres d'usinage pour obtenir l'effet de polissage sur les deux types de verre envisagés,
- créer des programmes d'usinage (y compris le balayage du faisceau laser),
- diminuer la rugosité initiale de la surface au niveau annoncé dans l'offre (et au minimum de  $Ra \leq 30nm$ )

## 4.2. Test 2 - Polissage d'une matrice de structures avec alignement global

Il sera demandé d'effectuer le polissage local de la surface au fond de chaque microcavité dans une matrice par génération d'une seule impulsion du laser (spot poli dans la zone rugueuse). Les zones d'usinage devront être alignées au centre des cavités en utilisant deux marques globales d'alignement (Figure 7). Le décalage du centre de la zone d'usinage par rapport au centre de la cavité sera mesuré (microscope optique) et évalué.

L'étape d'alignement peut être effectuée en mode manuel, par contre, l'usinage laser devra être effectué en mode automatique (par exécution d'un programme d'usinage).

- Type de substrate : **Borofloat 33**,
- Dim. de substrat : wafer 4", 500 $\mu m$  d'épaisseur, TTV<5 $\mu m$ , polis double face
- Dim. d'une cavité : **0.5x0.5mm<sup>2</sup>**, 100 $\mu m$  en profondeur, rugosité initiale au fond  $Ra=300-400nm$ 
  - Positions X-Y (en mm, relative au centre d'un substrat) :
 

▪ Cavité C1 à [-30, 30]	Cavité C2 à [30, 30]
▪ Cavité C3 à [0,0]	
▪ Cavité C4 à [-30, -30]	Cavité C5 à [30, -30]
- Marques d'alignement global :
  - Matériel : Cr/Au
  - Taille de 1000x1000 $\mu m^2$ , 100 $\mu m$  de largeur
  - Positions X-Y (en mm, relative au centre d'un substrat): à M1[-33,5, 0], M2 [33,5, 0]

L'essai confirmera la possibilité d'obtenir la précision d'alignement spécifié dans l'offre (et au minimum  $< \pm 15 \mu m$ ) en évaluant l'écart entre le centre des cavités et le centre des spots polis.

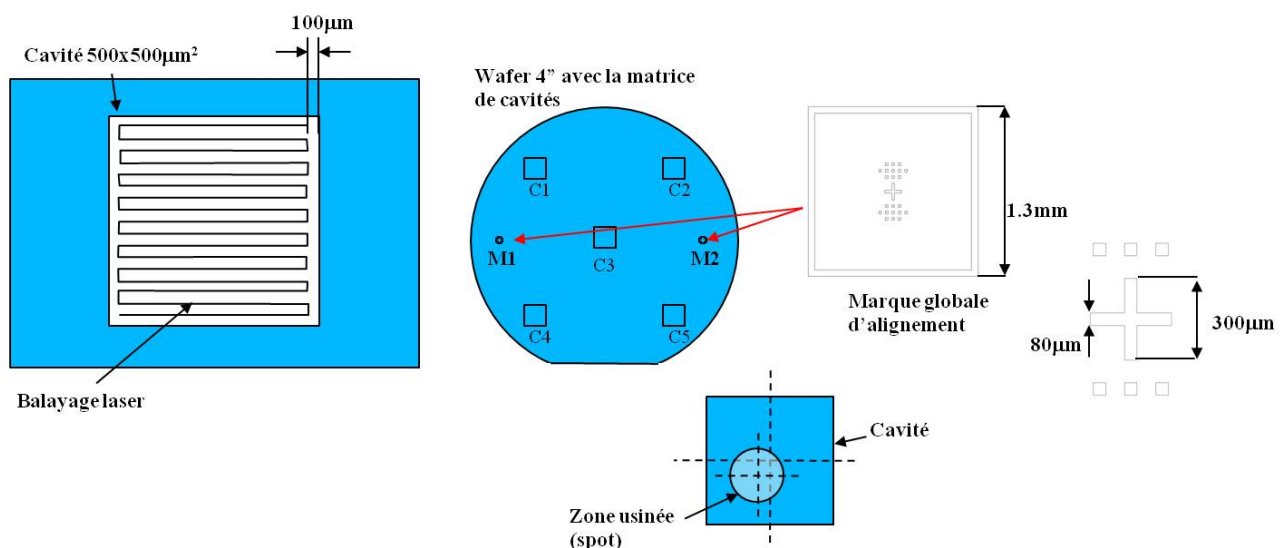


Figure 7. Echantillon de test en Borofloat 33 avec une matrice de cavités.

## **5. Prestations de services demandées**

### **5.1. Livraison, installation**

La livraison, 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.

### **5.2. Documentation**

La documentation (en français ou en anglais) sera incluse dans l'offre.

L'ensemble de la documentation (certificat de conformité, notice d'utilisation, documentation technique, ex. plans mécaniques et électriques) devra être fourni en version numérique (clé USB).

En plus, une notice d'utilisation simplifiée sous la forme d'un document plastifié (compatible salle blanche) devra également être fournie.

### **5.3. Formation**

Une formation sera organisée sur le site de livraison à la réception du matériel, pour 3 personnes minimum.

La formation devra porter sur :

1. Utilisation de base de la machine afin de mettre en œuvre le système laser dans les conditions de production, procédures particulières de réglage et de maintenance du premier niveau
2. Programmation de base (création des programmes, définition des paramètres etc.)
3. Utilisation et programmation avancée pour optimiser l'usinage (contrôle de paramètres de laser, outils de programmation spécifiques etc.)

Les trois types de formations seront inclus dans l'offre. La formation sur l'utilisation et programmation avancée peut être décalée afin de pouvoir acquérir le niveau de base.

Nombre de jours minimum consacrés à ces tâches de formation : 3 journées complètes.

### **5.4. Maintenance et support technique**

#### Maintenance préventive

- L'offre détaillera le nombre de visites de maintenance préventive nécessaires au bon fonctionnement de l'équipement y compris pendant la période de garantie.
- Les détails des opérations de maintenance annuelles et de leurs coûts devront être inclus dans l'offre (ex. taux horaire (main d'œuvre), coût du déplacement (heure de déplacement ou frais de déplacement par 24h)).

#### Maintenance corrective

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 fournisseur. Celui-ci devra démontrer dans l'offre qu'il est capable de garantir une très bonne réactivité en cas de panne (ex. un dépannage à distance forfait de X heures).

- L'offre précisera les conditions offertes pour la maintenance corrective (possibilité de prise en main de la machine à distance, hotline, ...) en précisant le coût d'une intervention corrective



(hors de la période de garantie), le délai standard et maximal d'intervention.

Les modalités des contrats de maintenance (préventive et corrective) proposés devront être détaillées, en particulier il devra être précisé si l'ensemble des éléments de l'équipement est maintenu par le fournisseur ou si certaines parties sont suivies par des intervenants extérieurs.

## Support technique

- L'offre devra préciser les modalités pour bénéficier de nouvelles mises à jour du logiciel du contrôle (pilotage) de la machine et du logiciel de la programmation après la période de la garantie (ex. coût annuelle de la licence, moyens d'installation, fréquence sur les dernières années).

Option facultative 2 : les coûts de la prolongation des contrats de maintenance et du support de développement hors de la période de garantie.

Option facultative 3 : pièces de rechange (back-up) ex. pour le système laser (à proposer par le fabricant)

DRAFT



## 6. Annexe 1 Résumé des exigences pour la machine

Aspects de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatible avec un environnement d'une salle blanche (classe ISO 7)</li> <li>• Porte vitrée, de préférence coulissante, vers le haut ou une porte rotative. Une ouverture/fermeture automatisée.</li> <li>• Chambre sécurisée et bien éclairée, pas de risque pour l'utilisateur en mode de fonctionnement normal de la machine.</li> <li>• Bouton d'arrêt d'urgence</li> <li>• Lunettes de protection compatibles avec laser CO2 fourni</li> </ul>
Caractéristique des substrats à traiter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wafers standards: 2", 3", 4", 6" (<math>\phi=150\text{mm}</math>),</li> <li>• Substrats non standards types : <math>10\times 10\text{mm}^2</math>, <math>20\times 20\text{mm}^2</math>, <math>10\times 26\text{mm}^2</math>, <math>20\times 26\text{mm}^2</math>, <math>26\times 76\text{mm}^2</math></li> <li>• L'épaisseur des substrats : <math>80\mu\text{m}</math> – <math>10\text{mm}</math></li> </ul> <p>Matériaux envisagés : Borofloat 33, Silice Fondue (Corning 7890)</p>
Système de maintien des substrats	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Système de fixation de substrats standards ronds (3", 4", 6") afin d'éviter le risque de glissement du substrat lors de déplacement/inclinaison de la platine</li> <li>• Flexibilité d'usage</li> <li>• Large gamme d'épaisseur de substrats : de <math>80\mu\text{m}</math> au <math>10\text{mm}</math></li> </ul> <p>L'offre devra préciser : Dimensions minimales et maximales des substrats pris en charge dans l'équipement</p>
Caractéristiques de laser CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mode d'opération : pulsé</li> <li>• Type de refroidissement préféré : par l'air</li> <li>• Longueur d'ondes : 9,3 - <math>10,6\mu\text{m}</math></li> <li>• Puissance laser moyenne : <b>appropriée à l'application envisagée</b></li> <li>• Paramètres réglable : autant que possible</li> <li>• Durée de vie estimée : supérieur à 40.000 h par préférence</li> <li>• Possibilité de générer une seule impulsion</li> <li>• Système de la calibration (réglage) de la puissance du laser CO2 incluse</li> </ul> <p>L'offre devra contenir la spécification de laser proposé et préciser quels paramètres sont réglables et dans quelle gamme des valeurs.</p>
Système de balayage de faisceau laser avec l'optique de focalisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scanner galvanométrique de précision micrométrique</li> <li>• Optique de focalisation d'un faisceau laser avec une lentille F-Theta</li> <li>• Taille du spot laser : <math>&lt;250\mu\text{m}</math></li> <li>• Précision de positionnement d'un spot laser : <math>\leq 15\mu\text{m}</math></li> <li>• Champ d'usinage en fonction de l'optique utilisée : de l'ordre de <math>90\text{mm}^2</math></li> <li>• Vitesse de travail (mm/s) : à définir</li> <li>• Fonction de mise en point automatique (focus finder)</li> </ul> <p>L'offre précisera la taille du spot laser et d'autres paramètres correspondants tels que la taille de champ d'usinage et la distance de travail.</p> <p>Option facultative 1 : Il sera possible d'usiner des surfaces fortement inclinées</p>

Système vision d'alignement des wafers	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alignement active, basé sur un système vision avec une camera HD dans l'axe optique du laser (Through The Lens)</li> <li>• Résolution d'une camera : 5MP de préférence</li> <li>• Correction de XY mais aussi de rotation de substrat (thêta)</li> <li>• Laser (un pointeur) dans la visible.</li> <li>• Fonction de vue d'ensemble grâce au scanner galvanométrique et assemblage d'images élémentaires (stitching)</li> <li>• Trois méthodes d'alignement sont envisagées : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alignement basé sur l'utilisation de deux marques globales - Option 1</li> <li>▪ Alignement basé sur l'utilisation des marques locales - Option 2</li> <li>▪ Alignement direct de la zone d'usinage programmée sur l'image de camera - Option 3.</li> </ul> </li> <li>• Précision d'alignement estimée : inférieure à <math>\pm 15\mu\text{m}</math> souhaitable</li> <li>• Grossissement optique d'objective : réglable de préférence</li> <li>• Taille du Champ de vision : adapté aux exigences de la précision d'alignement</li> </ul>
Platine de positionnement XY	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Course XY demandé : min. 150mm</li> <li>• Répétabilité : de l'ordre de <math>5\mu\text{m}</math></li> </ul>
Positionnement en Z	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Type : électrique et programmable</li> <li>• Course : de l'ordre de 300 mm,</li> <li>• Précision de positionnement : inférieure à <math>\pm 30\mu\text{m}</math></li> </ul>
Unité de contrôle et logiciels	<p>Unité de contrôle + ordinateur + logiciel du contrôle et programmation. Les caractéristiques suivantes du logiciel seront évaluées : Le logiciel devra permettre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• créer des programmes d'usinage sur le PC du contrôle de la machine mais aussi sur d'autres postes de travail (2-3),</li> <li>• créer de programmes d'usinage grâce à l'import des fichiers CAO et graphiques (ex. de type DXF, PLT, BMP, TIFF, etc.),</li> <li>• travailler dans différents modes (ex. administrateur, ingénieur, opérateur),</li> <li>• lancer des procédés d'usinage laser en mode manuel ou en mode automatique,</li> <li>• prendre des photos et des vidéos d'usinage laser,</li> <li>• suivre en temps réel l'ensemble des paramètres.</li> </ul> <p>D'autres caractéristiques souhaitables :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pouvoir contrôler l'accès aux recettes (droits de visibilité ou de modification des recettes différentes suivant les modes de travail).</li> <li>• avoir un logiciel évolutif, qui pourra être adapté à l'avenir aux besoins spécifiques de la centrale MIMENTO</li> <li>• avoir une mise à jour dès que cette dernière sera disponible chez le fabricant.</li> </ul> <p>L'offre devra préciser les modalités pour bénéficier de nouvelles mises à jour après la période de la garantie (coût, moyens d'installation, fréquence sur les dernières années).</p>

## 7. Annexe 2 Résumé des options facultatives

Il est demandé que la machine soit capable d'effectuer d'autres types d'usinage, éventuellement après l'installation de composants additionnels. Le tableau suivant présente les options facultatives qui peuvent être chiffrées par le candidat.

	Description	Paramètres demandés
Option facultative 1	Possibilité d'usiner des objets courbés ou des surfaces fortement inclinées. La solution technique pourrait être un goniomètre motorisé, permettant un réglage autour d'un axe optique. Il sera possible de programmer l'inclinaison du goniomètre dans la recette d'usinage.	Goniomètre motorisé : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plage du réglage d'inclinaison : <math>\pm 45^\circ</math> (ou plus si possible)</li> <li>• Précision du réglage : <math>\sim 1^\circ</math> (n'est pas critique)</li> <li>• Charge : petite (<math>&lt; 0.5\text{kg}</math>)</li> </ul>
Option facultative 2	Prolongation des contrats hors période de garantie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrat de maintenance</li> <li>• Support de développement des procédés</li> <li>• Mise à jour des logiciels utilisés</li> </ul>
Option facultative 3	Des pièces de rechange (back-up), par exemple pour le système laser	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A proposer par le candidat</li> </ul>
Option facultative 4	Aspirateur de fumée	

