

*M**INISTERE DE L’ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE*

**UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE**

**1, RUE CLAUDE GOUDIMEL**

**25 030 BESANCON CEDEX**

*🕿 : 03.81.66.59.02*

[service.marches@univ-fcomte.fr](mailto:service.marches@univ-fcomte.fr)

**MARCHE PUBLIC DE FOURNITURES**

**PROCEDURE ADAPTEE**

**C.C.T.P.**

**(Cahier des Clauses Techniques Particulières)**

**SYSTEME PROGRAMMABLE DE PILOTAGE DES FAISCEAUX ELECTRONIQUE ET IONIQUE POUR UN MICROSCOPE ELECTRONIQUE ZEISS AURIGA 60**

Pour plus de précisions, le candidat peut contacter le référent technique, porteur du projet : Guillaume Laurent, [guillaume.laurent@ens2m.fr](mailto:guillaume.laurent@ens2m.fr)

**CARACTERISTIQUES TECHNIQUES MINIMALES EXIGEES**

# CONTEXTE

Le contexte scientifique est celui de l’automatisation de la nano-manipulation et du nano-assemblage grâce à l’imagerie et à la lithographie. La microscopie électronique à balayage (MEB) est capable de produire des images avec des résolutions pouvant atteindre le nanomètre. L'utilisation d’un faisceau d'électrons ou d’ions pour tracer des motifs sur un substrat est connue sous le nom de lithographie électronique ou ionique. La plateforme µROBOTEX est équipée d’un microscope Zeiss Auriga 60 comportant une colonne électronique et une colonne ionique Gallium. Cet équipement a permis d’obtenir de nombreux résultats originaux tant sur le plan de l’imagerie que sur le plan de la nano-manipulation et du nano-assemblage. Néanmoins, les évolutions futures de ces travaux sont limitées par les possibilités techniques actuelles du système de pilotage des faisceaux d’électrons et d’ions intégré au microscope. Cette technologie est parfaitement adaptée pour imager un échantillon ou graver des motifs sur un substrat à partir de plans préconçus (lithographie). Néanmoins, dans un cas de manipulation robotisée, il est impératif de réagir à l’évolution de la tâche pour par exemple tenir compte de la position relative des objets. L’image est alors utilisée pour asservir le manipulateur. Dans ce contexte, le balayage systématique constitue une limite forte de par sa lenteur et sa résolution uniforme. Dans le cas du nano-assemblage, nous traitons des problèmes très différents de la lithographie traditionnelle. Nous n’avons pas besoins de former des motifs pré-établis mais au contraire de suivre des trajectoires qui s’adaptent aux éléments observés. L’équipement actuel ne nous permet pas de réaliser ces deux cas de figures. L’ambition de cet investissement est de faire sauter ce verrou technologique en équipant le microscope actuel d’un nouveau système de pilotage des faisceaux qui soit programmable via une interface de programmation C++.

# DESCRIPTION FONCTIONNELLE DE L’EQUIPEMENT A FOURNIR

Que cela soit en microscopie ou en lithographie électronique et ionique, le pilotage du faisceau est réalisé selon le principe suivant : un générateur de signaux génère un balayage ou un motif plus complexe ; le faisceau d’électrons (ou d’ions) suit cette trajectoire ; les détecteurs analysent les électrons réémis de manière synchrone au balayage pour former une image.

Le système de pilotage des faisceaux comprendra une partie matérielle et une partie logicielle. La partie matérielle sera constituée d’une interface de commande connectée au microscope Zeiss Auriga 60 et d’un ordinateur de contrôle. L’interface de commande intégrera notamment des cartes d’entrées-sorties hautes vitesses hautes précisions et devra impérativement être accompagné de logiciels permettant le contrôle des faisceaux à l’aide d’un programme en langage C++ ainsi que par l’intermédiaire d’une interface graphique sur l’ordinateur de contrôle.

L’interface de programmation (API) devra comporter des commandes bas niveaux permettant de créer par programme des trajectoires à partir de points, des commandes hauts niveaux pour créer des motifs géométriques, puis dans les deux cas de récupérer les images correspondantes.

Des mires certifiées seront également fournies pour permettre l’étalonnage régulier du système de pilotage des faisceaux.

## Exemples d’utilisation

Afin de préciser notre propos, nous donnons ci-dessous quelques cas d’utilisation que l’équipement doit permettre de réaliser à l’aide d’un programme avec le faisceau électronique et le faisceau ionique :

1. **Imagerie haute fréquence** : Il s’agit de réaliser la mesure du déplacement d’un MEMS le long de lignes disposées en biais dans le champ de vision avec des fréquences supérieures à 1000 Hz. Les deux lignes de la zone sont balayées et on récupère ensuite les mesures des détecteurs SE1 ou SE2 correspondantes.

|  |  |
| --- | --- |
|  | ScanSequence scan;  scan.addSegment(45.6, 30.0, 56.7, 67.0);  scan.addSegment(30.0, 40.0, 35.0, 45.0);  scan.setIntegrationTime(30.0);  scan.setSpatialResolution(12.5);  scan.setMode(POINT\_TO\_POINT,ELECTRON\_BEAM);  while (not finished) {  scan.execute(3);  vector = scan.getSegment(1).getSE2Values();  } |
| *Exemple de tâche d’imagerie haute fréquence* | *Exemple de programme pour l’imagerie haute fréquence* |

1. **Suivi visuel (tracking)** : L’objectif est de suivre un objet dans le champ de vision à l’aide d’une région d’intérêt mobile et centrée sur celui-ci et qui suit son mouvement. A chaque boucle, on définit une région d’intérêt rectangulaire, on récupère ensuite les mesures des détecteurs SE1 ou SE2 dans cette région puis à l’aide d’un processus ad hoc (hors appel d’offre), on détermine les nouvelles positions X et Y de la région d’intérêt. Cette boucle doit pourvoir tourner à 100 Hz minimum sur une petite région d’intérêt de 64\*64 pixels.

|  |  |
| --- | --- |
|  | ScanSequence scan;  scan.addRectangle(456, 300, 64, 64);  scan.setIntegrationTime(30.0);  scan.setSpatialResolution(12.5);  scan.setMode(POINT\_TO\_POINT,ELECTRON\_BEAM);  while (not finished) {  scan.execute(10);  image = scan.getRectangle(0).getSE2Values();  newPosition = findNewObjectPosition(image);  scan.getRectangle(0).setPosition(newPosition);  } |
| *Exemple de tâche de suivi visuel* | *Exemple de programme pour le suivi visuel* |

1. **Lithographie sélective** : L’image est comparée à une image de référence pour définir la trajectoire de gravure du FIB (zone blanche dans l’image de droite).

|  |  |
| --- | --- |
| Capture d’écran 2018-03-17 à 17.51.02.png | ScanSequence scan;  scan.setIntegrationTime(10.0);  scan.setSpatialResolution(5.8);  scan.setMode(POINT\_TO\_POINT,ION\_BEAM);  scan.executeCompleteScan(10,1024,1024);  image = scan.getImage().getSE2Values();  pixelsToEtch = findDifference(image);  scan.addBitmap(pixelsToEtch);  scan.setIntegrationTime(150.0);  scan.setMode(CONTINUOUS,ION\_BEAM);  scan.execute(20); |
| *Exemple de tâche de lithographie sélective* | *Exemple de programme pour la lithographie sélective* |

1. **Dépôt IBAD localisé** : L’image FIB est analysée, un objet connu y est détecté (en vert) puis une zone de dépôt est définie (en rouge) relativement à l’objet localisé pour réaliser un assemblage automatisé.

|  |  |
| --- | --- |
|  | ScanSequence scan;  scan.setIntegrationTime(20.0);  scan.setSpatialResolution(72);  scan.setMode(POINT\_TO\_POINT,ION\_BEAM);  scan.executeCompleteScan(10,1024,1024);  image = scan.getImage().getSE2Values();  depositionPolygon = detectObjet(image);  scan.addPolyline(depositionPolygon);  scan.setIntegrationTime(30.0);  scan.setSpatialResolution(12.5);  scan.setMode(CONTINUOUS,ION\_BEAM);  scan.execute(100); |
| *Exemple de tâche de dépôt localisé* | *Exemple de programme pour le dépôt IBAD localisé* |

# SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE L'EQUIPEMENT A FOURNIR

Le matériel comprendra l'ensemble des éléments constituant un système programmable de pilotage des faisceaux électroniques et ioniques d’un microscope électronique, c’est-à-dire :

* Interface de commande (cartes entrées/sorties hautes vitesses hautes précisions)
* Ordinateur de contrôle
* Logiciels : interface de programmation C++ (API), interface graphique utilisateur (GUI)
* Mires d'étalonnage
* Alimentations, câblages, baie de commande, supports

## Interface de commande

L’interface de commande sera reliée aux ports suivants de l’Auriga 60 :

* X, Y et blanking du faisceau électronique (3 entrées analogiques)
* X, Y et blanking du faisceau ionique (3 entrées analogiques)
* Détecteur SE1/inlens (1 sortie analogique)
* Détecteur SE2 (1 sortie analogique)

L’interface de commande comprendra les cartes d’entrées/sorties ayant les performances minimales suivantes :

* 6 convertisseurs numérique-analogique (DAC), 16 bits, 600 MHz
* 2 convertisseurs analogique-numérique (ADC), 14 bits, 100 MHz

La disponibilité des pièces de rechange de l’interface de commande doit être assurée pendant au moins 10 ans par leur constructeur.

## Ordinateur de contrôle

L’ordinateur de contrôle aura les performances minimales suivantes :

* processeur Intel i7
* 16 Go de RAM
* disque SSD de 256 Go
* disque HD de 1 To
* carte graphique avec GPU compatible CUDA
* écran de 24" 1920x1080
* licence Windows 10 Pro

Il pourra interagir avec l’application SmartSEM via le réseau Ethernet.

## Mire d’étalonnage

Une (ou des) mire(s) physique(s) devra (devront) permettre l’étalonnage du système du pilotage des faisceaux afin d’obtenir des variables de contrôles métriques pour les motifs et les mesures réalisés avec l’interface de programmation.



La (ou les) mire(s) devront être certifiées par le LNE ou le NIST avec les performances minimales suivantes :

* Taille de la grille de points : 250 x 250 μm²
* Valeur moyenne nominale du pas de la grille : 900 nm (X et Y)
* Incertitude élargie typique (k=2) du pas moyen : ± 2 nm

## Logiciels et interface de programmation C++ (API)

Le matériel devra être impérativement accompagné des deux logiciels décrits ci-dessous avec des licences d’utilisation perpétuelles et une maintenance pendant 2 ans.

Le premier logiciel devra permettre le pilotage des faisceaux du microscope à l’aide d’une interface de programmation (API) pour le langage C++. Le second logiciel devra permettre d’accéder aux mêmes fonctionnalités par l’intermédiaire d’une interface graphique utilisateur (GUI).

***Interface de programmation C++ (API)***

L’interface de programmation (API) devra comporter des commandes bas niveaux permettant de créer par programme des trajectoires pour les deux faisceaux à partir de points, des commandes hauts niveaux pour créer des motifs géométriques et des images matricielles, puis dans les deux cas de récupérer les tensions correspondantes sur les deux détecteurs.

Les commandes bas niveaux doivent permettre de contrôler directement les cartes d’entrées-sorties au maximum de leur bande passante. Il doit notamment être possible à minima d’envoyer un signal de 10 000 000 valeurs de tensions X et Y à 20 MHz sur les convertisseurs numériques-analogiques et de mesurer en même temps les tensions sur les convertisseurs analogiques-numériques.

Elle doivent également permettent de réaliser des images avec l’un ou l’autre des faisceaux.

*Table 1 : Spécifications des commandes de bas niveaux*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Commande | Description | Paramètres | Résultats |
| Point | Le faisceau sélectionné parcours x fois une séquence de n points avec un temps d’intégration t identique en chaque point.  Si demandé, la commande renvoie les tensions mesurées pour chaque point sur les détecteurs SE1 et SE2 | Choix du faisceau (FIB/SEM)  Nombre de points (int n, 0<n<20 000 000)  Temps d’intégration par point (double t, 1/20000000 < t < 1)  Nombre de passage/scan (int x)  Tableau des abscisses des points (int16\* ou vector<int16>)  Tableau des ordonnées des points (int16\* ou vector<int16>) | Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE1 (int16\* ou vector<int16>)  Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE2 (int16\* ou vector<int16>) |
| Image | Le faisceau sélectionné parcours x fois la totalité de la surface atteignable avec un temps d’intégration t identique en chaque point.  La commande renvoie les tensions mesurées pour chaque point sur les détecteurs SE1 et SE2 | Choix du faisceau (FIB/SEM)  Nombre de points selon X et selon Y (int n, 0<n<4000)  Temps d’intégration par point (double t, 1/20000000 < t < 1)  Nombre de passage/scan (int x) | Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE1 (int16\* ou vector<int16>)  Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE2 (int16\* ou vector<int16>) |

Parmi les commandes hauts niveaux, il doit être possible de générer des motifs géométriques plus ou moins complexes : segment, ligne polygonale, arc de cercle, rectangle, ellipse, etc.

Deux modes doivent être proposés pour chaque motif :

* un **mode** **imagerie (balayage point à point)** dans lequel le motif est parcouru selon une séquence de points avec une résolution spatiale donnée et un temps d’intégration par point,
* un **mode** **lithographie (balayage continue)** dans lequel le motif est parcouru de façon continue avec une vitesse constante égale au rapport entre la résolution spatiale et le temps d’intégration.

Pour chacun des deux modes, il doit être possible de récupérer les tensions mesurées sur les deux détecteurs.

*Table 2 : Spécifications des commandes pour les motifs géométriques*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Commande | Description | Paramètres | Résultats |
| Segment | Le faisceau sélectionné parcourt x fois un segment définie par deux points A et B.  Si demandé, la commande renvoie les tensions mesurées pendant le balayage sur les détecteurs SE1 et SE2 | Choix du faisceau (FIB/SEM)  Mode de parcours (imagerie /lithographie)  Nombre de points par unité de longueur = résolution spatiale (double r)  Temps d’intégration par point (double t, 1/20000000 < t < 1)  Nombre de passage/scan (int)  Coordonnées des points A et B (double) | Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE1 (int16\* ou vector<int16>)  Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE2 (int16\* ou vector<int16>) |
| Ligne polygonale | Le faisceau sélectionné parcourt x fois une ligne polygonale (définie par une séquence de sommets).  Si demandé, la commande renvoie les tensions mesurées pendant le balayage sur les détecteurs SE1 et SE2 | Choix du faisceau (FIB/SEM)  Mode de parcours (imagerie /lithographie)  Nombre de points par unité de longueur = résolution spatiale (double r)  Temps d’intégration par point (double t, 1/20000000 < t < 1)  Nombre de passage/scan (int)  Tableau des abscisses des sommets (double\* ou vector<double>)  Tableau des ordonnées des sommets (double\* ou vector<double>) | Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE1 (int16\* ou vector<int16>)  Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE2 (int16\* ou vector<int16>) |
| Arc de cercle | Le faisceau sélectionné parcourt x fois un arc de cercle défini par trois points.  Si demandé, la commande renvoie les tensions mesurées pendant le balayage sur les détecteurs SE1 et SE2 | Choix du faisceau (FIB/SEM)  Mode de parcours (imagerie /lithographie)  Nombre de points par unité de longueur = résolution spatiale (double r)  Temps d’intégration par point (double t, 1/20000000 < t < 1)  Nombre de passage/scan (int)  Coordonnées des points (double) | Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE1 (int16\* ou vector<int16>)  Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE2 (int16\* ou vector<int16>) |
| Rectangle | Le faisceau sélectionné parcourt x fois un rectangle défini par trois points.  Si demandé, la commande renvoie les tensions mesurées pendant le balayage sur les détecteurs SE1 et SE2 | Choix du faisceau (FIB/SEM)  Mode de parcours (imagerie /lithographie)  Nombre de points par unité de longueur = résolution spatiale (double r)  Temps d’intégration par point (double t, 1/20000000 < t < 1)  Nombre de passage/scan (int)  Coordonnées des points (double) | Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE1 (int16\* ou vector<int16>)  Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE2 (int16\* ou vector<int16>) |
| Ellipse | Le faisceau sélectionné parcourt x fois l’ellipse inscrite dans un rectangle défini par trois points.  Si demandé, la commande renvoie les tensions mesurées pendant le balayage sur les détecteurs SE1 et SE2 | Choix du faisceau (FIB/SEM)  Mode de parcours (imagerie /lithographie)  Nombre de points par unité de longueur = résolution spatiale (double r)  Temps d’intégration par point (double t, 1/20000000 < t < 1)  Nombre de passage/scan (int)  Coordonnées des points (double) | Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE1 (int16\* ou vector<int16>)  Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE2 (int16\* ou vector<int16>) |
| Trapèze | Le faisceau sélectionné parcourt x fois un trapèze défini par trois points.  Si demandé, la commande renvoie les tensions mesurées pendant le balayage sur les détecteurs SE1 et SE2 | Choix du faisceau (FIB/SEM)  Mode de parcours (imagerie /lithographie)  Nombre de points par unité de longueur = résolution spatiale (double r)  Temps d’intégration par point (double t, 1/20000000 < t < 1)  Nombre de passage/scan (int)  Coordonnées des points (double) | Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE1 (int16\* ou vector<int16>)  Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE2 (int16\* ou vector<int16>) |
| Polygone | Le faisceau sélectionné parcourt x fois un polygone défini par ses n sommets.  Si demandé, la commande renvoie les tensions mesurées pendant le balayage sur les détecteurs SE1 et SE2 | Choix du faisceau (FIB/SEM)  Mode de parcours (imagerie /lithographie)  Nombre de points par unité de longueur = résolution spatiale (double r)  Temps d’intégration par point (double t, 1/20000000 < t < 1)  Nombre de passage/scan (int)  Tableau des abscisses des sommets (double\* ou vector<double>)  Tableau des ordonnées des sommets (double\* ou vector<double>) | Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE1 (int16\* ou vector<int16>)  Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE2 (int16\* ou vector<int16>) |

D’autres commandes hauts niveaux doivent être fournies pour réaliser des lithographies à partir d’images matricielles.

*Table 3 : Spécifications des commandes pour les images matricielles*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Commande | Description | Paramètres | Résultats |
| Image matricielle binaire  Résultat de recherche d'images pour "lena seuillage" | Le faisceau sélectionné parcourt x fois une image matricielle binaire avec un temps d’intégration t identique en chaque pixel blanc (et pas les pixels noirs).  Si demandé, la commande renvoie les tensions mesurées pour chaque pixel sur les détecteurs SE1 et SE2 | Choix du faisceau (FIB/SEM)  Nombre de points sur la longueur de l’image (int n, 0<n<10 000)  Nombre de points sur la hauteur de l’image (int m, 0<m<10 000)  Nombre de points par unité de longueur = résolution spatiale (double r)  Temps d’intégration par pixel blanc (double t, 1/20000000 < t < 1)  Nombre de passage/scan (int x)  Image matricielle (char\*)  Coordonnées du point en haut à gauche (double)  Angle de l’image (double) | Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE1 (int16\* ou vector<int16>)  Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE2 (int16\* ou vector<int16>) |
| Image matricielle en niveaux de gris  Résultat de recherche d'images pour "lena niveau de gris" | Le faisceau sélectionné parcourt x fois une image matricielle en niveaux de gris avec un temps d’intégration proportionnel à l’intensité de chaque pixel.  Si demandé, la commande renvoie les tensions mesurées pour chaque pixel sur les détecteurs SE1 et SE2 | Choix du faisceau (FIB/SEM)  Nombre de points sur la longueur de l’image (int n, 0<n<10 000)  Nombre de points sur la hauteur de l’image (int m, 0<m<10 000)  Nombre de points par unité de longueur = résolution spatiale (double r)  Temps d’intégration pour un pixel blanc (double t, 1/20000000 < t < 1)  Nombre de passage/scan (int x)  Image matricielle (int16\*)  Coordonnées du point en haut à gauche (double)  Angle de l’image (double) | Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE1 (int16\* ou vector<int16>)  Tableau des tensions mesurées sur le détecteur SE2 (int16\* ou vector<int16>) |

Toutes ces commandes doivent pourvoir ensuite être exécutées dans des programmes tels que ceux présentés dans la première partie.

Toutes les primitives doivent pouvoir être stockées dans un format de fichier texte ouvert comme JSON, XML, ou SVG (en lecture et en écriture).

***Interface graphique (GUI)***

L’ensemble des commandes listées ci-dessus doivent être également accessibles par l’intermédiaire d’une interface graphique. Cette interface doit permettre :

1. de définir des motifs avec tous leurs paramètres,
2. de les pré-visualiser à l’écran sur l’image SEM ou FIB,
3. de lancer leur exécution,
4. de visualiser les résultats obtenus si demandés,
5. d’enregistrer les résultats, les motifs, etc.

Il doit être également possible de régler les paramètres du MEB et du FIB.

# PRESTATIONS ATTENDUES DU TITULAIRE

## Livraison et installation

Le Titulaire devra préciser, le délai de livraison et toutes les caractéristiques techniques et besoins nécessaires à l’installation du matériel.

Par installation, il est entendu la mise en service (ou en œuvre) opérationnelle. En tout premier lieu, il est important de préciser que le Titulaire est responsable de la livraison du matériel en bon état au sein des locaux de FEMTO-ST. Il sera le seul donneur d'ordre auprès du transporteur et tout incident éventuel, soit pendant le transport, soit lors du déchargement du matériel au sein des locaux du FEMTO-ST, sera de sa pleine et entière responsabilité.

Ensuite, le Titulaire devra venir prendre effectivement en charge le matériel, qui aura été entreposé à l'intérieur des bâtiments de FEMTO-ST, pour l'acheminer à l'intérieur du local qui lui aura été affecté, où il se chargera du déballage dudit matériel et de sa mise en service effective.

## Formation des utilisateurs

Une formation de deux jours à l'utilisation de l'équipement et aux logiciels devra être organisée par le Titulaire sur le site d'installation, par du personnel parlant parfaitement français (pour 5 à 6 personnes).

Cette formation se fera sur site en deux temps (une première journée lors de l'installation consacrée à l’utilisation de l’interface graphique, une seconde journée consacrée à l’utilisation de l’API après appropriation du système par les utilisateurs).

Les dates de ces formations seront fixées en accord entre FEMTO-ST et le Titulaire.

Un service de support technique en ligne devra être assuré pendant la période de garantie.

## Garantie

Tout le matériel sera garanti pièce et main d’œuvre sur site pendant 2 ans au minimum. La disponibilité des pièces de rechange de l’interface de commande doit être assurée pendant au moins 10 ans par leur constructeur.

La période de garantie démarrera à la date d'acceptation de l'équipement. Cette date correspond à la date de mise en service effectif et sans réserve de l'équipement et sera validée par accord écrit conjoint de FEMTO-ST et du Titulaire.

## Interventions et dépannage

Pendant la durée de garantie, le Titulaire devra s'engager sur un temps d'intervention et de rétablissement selon la gravité de l'évènement par exemple :

* pour un problème logiciel (bug) : diagnostic sous 5 jours ouvrés avec une garantie de rétablissement sous 10 jours ouvrés,
* pour un problème matériel : diagnostic sous 10 jours ouvrés avec garantie de rétablissement sous 20 jours ouvrés.

Les délais se comprennent à partir de la date et de l'heure de l’appel ou du mail enregistrés dans le système du Titulaire. L'envoi d'un courrier électronique adressé par les correspondants, désignés nominativement par FEMTO-ST, au Titulaire devra précéder toute intervention de dépannage sur site. À chaque fin d'incident, un compte rendu devra être fourni dans la réponse et fera partie intégrante du registre de suivi de l'équipement.

**Date, cachet et signature de l’entreprise :**