Université de Tours
60 rue du Plat d'Etain
37020 - Tours Cedex 1

Marché public de fournitures

Acquisition d'un microscope électronique à balayage avec canon à effet de champ équipé pour la microanalyse X

Cahier des Clauses Techniques Particulières (C.C.T.P.)

SOMMAIRE

ARTICLE 1. DESCRIPTION DU MARCHÉ 3
ARTICLE 2. CONDITIONS DE RÉALISATION DES PRESTATIONS 4
ANNEXE A: EXEMPLE CALENDRIER UNIVERSITAIRE SUR L'ANNÉE 2025-2026 ..... ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

ARTICLE 1. DESCRIPTION DU MARCHE

1.1. Objet de la prestation

Ce marché a pour objet l'acquisition, la livraison, l'installation et la mise en service, ainsi que la formation initiale du personnel technique habilité de la plateforme, pour :

- **Lot n°1 :** un **microscope électronique à balayage** (MEB) à haute résolution type FEG-SEM, équipé d'un dispositif de microanalyse X EDS

- **Lot n°2 :** un **métalliseur** haute performance pour la préparation des échantillons

1.2. Lieu d'exécution

Cf. Annexe A du présent CCTP

1.3. Intervenants

Les prestations sont réalisées pour le compte de l'acheteur **Université de Tours**, Établissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel, représenté par le Président de l'Université de Tours.

Adresse et coordonnées :
60 rue du Plat D'Etain – BP 12050
37020 Tours Cedex 1
Téléphone : 02 47 36 66 00
Courriel : commande-publique@univ-tours.fr
Site internet : www.univ-tours.fr

1.4. Structure et forme du contrat

Le marché est un marché ordinaire.

1.5. Contexte des prestations

Le nouvel équipement remplacera le MEB dont dispose actuellement la plateforme (installé en juin 2010), par un instrument bénéficiant des dernières améliorations matérielles et logicielles. Cette acquisition permettra d'être mieux adapté aux besoins actuels des équipes utilisatrices.

Prestation supplémentaire n°1 : enlèvement du MEB actuel. Le soumissionnaire proposera, en prestation supplémentaire facultative, l'enlèvement du MEB (microscope électronique à balayage) actuellement en place sur le site.

Du fait du fonctionnement et du public de la plateforme, l'instrument sera utilisé pour l'observation, ainsi que, au besoin, l'analyse élémentaire, d'une grande variété d'échantillons. Il devra permettre l'obtention d'images de haute qualité aussi bien à haute tension d'accélération qu'à basse (≤ 5kV), voire très basse (≤ 1kV), tension, et des grandissements les plus petits (<20 X) au plus élevés (> 100 000 X).

Outre le personnel technique et scientifique de la plateforme, plus ou moins expérimenté, ce microscope devra être d'un maniement suffisamment aisé pour pouvoir être aussi confié à des utilisateurs extérieurs (après formation et sous la direction de notre équipe), dans le domaine des sciences biologiques ainsi que des matériaux.

ARTICLE 2. CONDITIONS DE REALISATION DES PRESTATIONS

2.1. Lot n°1 (MEB) : Description détaillée de la prestation

- Optique électronique

Le faisceau d'électrons devra être produit par un canon équipé d'une pointe effet de champ (FEG).

Les caractéristiques de la pointe émettrice et les conditions d'extraction des électrons seront clairement indiquées, ainsi que les contraintes liées au type de cathode (« Schottky » ou « froide »).

La tension d'accélération du faisceau pourra être choisie entre quelques dizaines de volts et jusqu'à 30 kV. Le pas de réglage sera précisé sur toute l'étendue de la gamme, de la valeur la plus basse à la plus haute.

Le système devra comprendre un dispositif permettant la mesure du courant de sonde réel (de type cage de Faraday/pico-ampèremètre ou équivalent).

Les grandissements s'étendront sur une plage aussi continue que possible, à partir d'un seuil suffisamment bas (de l'ordre de 10 X, référence Polaroïd), avec un minimum de distorsion, pour faciliter la navigation sur l'échantillon et le repérage des régions d'intérêt. La valeur du plus faible grandissement utilisable sera communiquée dans l'offre.

L'ajustement de l'alignement du faisceau d'électrons devra être suffisamment aisé et rapide pour être réalisée par le personnel de la plateforme en maintenance de routine. Une bonne conservation de l'alignement malgré les changements de paramètres de travail devra être assurée.

Le système permettra la rotation et le déplacement électroniques du cadre de balayage (indépendamment de la platine), et les amplitudes en seront précisées. La capacité de mise au point dynamique sur échantillon incliné serait appréciée.

Les différentes définitions d'image (nombre de pixels) permises par le système de balayage seront également fournies.

Enfin, il sera prévu dans l'électronique de gestion de la colonne la possibilité de prise de contrôle du balayage et de lecture des signaux détectés par un dispositif d'analyse externe.

- Résolution

La résolution garantie aux tensions d'accélération de référence sera donnée pour chaque (type de) détecteur proposé, ainsi que les distances de travail associées. Le type d'échantillon utilisé pour calibrer ces valeurs sera précisé, ainsi que la méthode de mesure.

Les tests confirmant les valeurs annoncées seront décrits, puis réalisés lors de l'installation de la machine par le titulaire.

Les valeurs requises pour la résolution de l'instrument en imagerie des électrons secondaires sont :

- ≤ 2 nm à basse tension (< 5 kV)
- ≤ 1 nm à haute tension

- Environnement et stabilité

Des mesures d'environnement effectuées ces derniers mois dans le local de destination de la machine n'ont pas révélé de perturbations électro-magnétiques de nature à compromettre les performances optimales de l'instrument.

En revanche, ces mesures ont mis en évidence un niveau excessif de vibrations mécaniques à basse fréquence, essentiellement sur l'axe Z.

Le titulaire devra donc prévoir, chiffrer et inclure dans l'offre de base les aménagements correctifs nécessaires (ex. table antivibratoire, suspension active).

Préalablement à la remise de son offre et s'il le souhaite, il pourra procéder à une visite dans le local afin d'effectuer lui-même toutes mesures de contrôle utiles.

- Détecteurs pour l'imagerie électronique

Le microscope possédera dans sa configuration de base des détecteurs appropriés pour l'imagerie en électrons secondaires (SE) et en électrons rétrodiffusés (BSE). Le titulaire précisera dans son offre le nombre, le type et le

positionnement des détecteurs par rapport à la colonne (externe, through-the-lens, etc.).

Prestation supplémentaire facultative n°2 : Dispositif d''imagerie par détection des électrons transmis (ex. détecteur STEM).

Le soumissionnaire proposera, en prestation supplémentaire facultative, la fourniture et l'intégration d'un dispositif d'imagerie par détection des électrons transmis, de type détecteur STEM (Scanning Transmission Electron Microscopy), compatible avec le MEB proposé. Le système aura la capacité d'afficher et/ou mixer les signaux issus des différents détecteurs. L'interface logicielle devra permettre la visualisation simultanée d'un maximum de canaux (dont le nombre sera indiqué), ainsi que l'affichage en temps réel de l'histogramme d'une image donnée pour assister au réglage brillance/contraste.

- Chambre, sas et platine

La chambre devra être compatible avec l'installation de tous les détecteurs et accessoires sélectionnés.

Afin d'éviter une ventilation systématique de la chambre, l'introduction du porte-objet avec les échantillons devra pouvoir se faire par l'intermédiaire d'un sas.

Les dimensions de la chambre et du sas, et les limites sur les dimensions des porte-objets et échantillons devront être fournies.

Il sera possible de visualiser en temps réel l'intérieur de la chambre et la position des échantillons par rapport à la lentille objectif et aux détecteurs (ex. caméra vidéo).

La platine porte-objets sera motorisée sur au moins 5 degrés de liberté :

- X, Y (horizontales)
- Z (verticale)
- R (rotation autour de l'axe vertical)
- T (inclinaison autour de X ou Y)

- Porte-objets

Au moins trois porte-objets seront inclus dans l'offre. Ces porte-objets seront nativement compatibles avec les plots MEB type LEO/ZEISS (tige de 3,2x6-8 mm), ou bien un système d'adaptation sera inclus.

Un des porte-objets sera de grande capacité, pouvant accueillir au minimum 12 plots de 12,5 mm de diamètre.

- Mode pression contrôlée ; platine Peltier (en option)

Afin d'élargir la gamme d'échantillons et de conditions d'observation possibles avec ce nouveau microscope, le soumissionnaire inclura dans la configuration proposée un système de régulation de la pression dans la chambre, type Pression Contrôlée/Low Vacuum. Devront être précisés et décrits en particulier :

- le ou les détecteurs requis pour l'observation d'échantillons dans ce mode, leur fonctionnement, la nature du signal détecté et la résolution attendue
- le domaine de pression autorisé et le(s) gaz utilisé(s), notamment la vapeur d'eau le cas échéant
- les modalités et délais de bascule entre les modes "high vac" et "low vac"

Prestation supplémentaire facultative n° 3 : En complément, dans la perspective de pouvoir observer des échantillons particulièrement sensibles et/ou hydratés, une (sur)platine à refroidissement par effet Peltier sera proposée en option. La gamme de température exploitable sera donnée, en vide poussé et en vide partiel, ainsi que la procédure de montage/démontage dudit accessoire.

- Système de vide

Le système de pompage devra garantir la qualité et la propreté du vide, aussi bien dans la chambre qu'au niveau du canon, pour un fonctionnement optimal. Il sera décrit de façon précise, en particulier le type de pompe utilisée à chaque étage.

Les valeurs de vide minimales et nominales, dans la chambre et au niveau du canon, pour l'observation des échantillons et le bon fonctionnement de la cathode (et sa durée de vie) seront fournis. Les valeurs de vide réelles (canon et chambre) seront mesurées et lisibles en continu.

Pour l'introduction des échantillons, avec ou sans utilisation d'un sas, les valeurs à atteindre et le délai moyen pour les atteindre (pour des échantillons dont le dégazage ne sort pas de l'ordinaire) seront précisées.

La ventilation de la chambre devra pouvoir se faire à partir d'une bouteille ou d'une arrivée de gaz pressurisé, afin de réduire les risques de contamination.

Les opérations de maintenance requises ou recommandées sur tout élément du système de vide et leurs fréquences seront indiquées.

- Décontamination

La configuration proposée comprendra aussi un dispositif de décontamination de la chambre et/ou du sas (ex. plasma cleaner). Il conviendra de préciser la nature du gaz utilisé et le(s) mode(s) de fonctionnement du système, ainsi que sa

capacité ou non à aussi être utilisé pour le nettoyage d'un échantillon qui s'y prêterait.

- Contrôle du microscope, environnement informatique

Le matériel informatique fourni pour le pilotage de l'instrument sera décrit avec précision (configuration, caractéristiques…), ainsi que le mobilier inclus pour son installation.

L'inclusion d'un pupitre de commande permettant un accès direct aux principaux réglages (ex. mise au point, grandissement, brillance/contraste, correction d'astigmatisme, alignement…) est requise.

La console de pilotage du microscope possédera tous les ports/cartes d'interface nécessaires à la communication avec un système de microanalyse tiers, ainsi qu'à la mise en réseau, en vue de l'enregistrement des images acquises directement sur un serveur de fichiers.

L'interface du logiciel de pilotage du microscope sera décrite de façon aussi exhaustive que possible, captures d'écran à l'appui, ainsi que ses possibilités ou non de personnalisation (modularité, raccourcis, etc.).

Il est souhaitable que chaque opérateur puisse disposer d'un environnement propre, adapté à son degré d'expérience (ex. novice/expérimenté/expert).

Le format d'enregistrement natif des images (propriétaire ou générique) et la façon dont sont gérées les métadonnées seront précisés, ainsi que les formats disponibles pour l'export.

Le système aura aussi la capacité d'acquérir de larges zones en automatisant le déplacement de l'échantillon et l'enregistrement des clichés successifs, puis leur assemblage (par exemple pour obtenir un champ de vue plus étendu que ne le permet le grandissement minimum du MEB).

Prestation supplémentaire facultative n°4 : enfin, si l'environnement logiciel de la console le permet, la fonctionnalité d'automatisation des opérations du MEB via un module de programmation visuelle et/ou un langage courant (Python par ex.) sera chiffrée et listée.

- Documentation

Le titulaire fournira un exemplaire papier du manuel d'utilisation et des informations détaillées pour le microscope et ses accessoires, en anglais et le cas échéant en français.

- Environnement et installation

Le titulaire fera part de façon claire, précise et complète des exigences concernant le local devant accueillir le microscope. Il est rappelé que ce local est accessible à la visite et pour toute mesure en amont.

Des indications détaillées auront été données concernant l'alimentation électrique et la puissance nécessaire, ainsi que les besoins en fluides existant (air comprimé, azote médical…).

Au besoin, le titulaire aura inclus dans son offre et installera un système de refroidissement en circuit fermé pour les organes du microscope.

- Système de microanalyse X par sélection d'énergie (EDS)

Outre ses capacités en imagerie électronique SE/BSE, le système proposé inclura un détecteur de rayons X caractéristiques de type EDS pour l'analyse élémentaire des échantillons, avec tout l'environnement matériel et logiciel nécessaire.

Le détecteur sera de type Silicon Drift Detector (SDD) ou équivalent, d'une surface d'au moins 30mm2 et permettant la détection des éléments à partir du bore. Sa résolution spectrale sera ≤129 eV (Mn, 100 kcps).

Surface du capteur, positionnement, distance et angle solide de détection des rayons X seront précisés. L'insertion du détecteur sera motorisée.

Prestation supplémentaire facultative n°5 :

Si un modèle de plus grande surface/sensibilité, ou un détecteur complémentaire, sont envisageables et pertinents, ils seront indiqués en option.

L'électronique de contrôle et le(s) logiciel(s) devra permettre aussi bien l'analyse locale que la cartographie élémentaire, qualitatives et semi-quantitatives et quantitatives (pour des échantillons adaptés).

Dans le cas d'un détecteur EDS fourni par un constructeur tiers et piloté par sa propre informatique, l'ordinateur dédié devra pouvoir être connecté au réseau informatique du laboratoire lui aussi. Les caractéristiques techniques de cet ordinateur seront communiquées.

Une licence supplémentaire « hors ligne » du logiciel de traitement des données sera fournie.

NB : S'il existe une incompatibilité entre le bon positionnement et/ou fonctionnement du détecteur EDS et l'utilisation d'un ou plusieurs détecteurs d'imagerie électronique, elle sera portée à notre connaissance.

2.2. Lot n°1 (MEB) : Garantie et maintenance

Il est demandé que la durée totale de couverture de l'instrument soit d'au moins 10 années au total (à partir de la validation de l'installation), sous la forme d'une extension de garantie ou d'un contrat de maintenance équivalent.

La durée de la garantie pour tous les matériels informatiques liés au microscope et à la microanalyse X sera d'au moins 3 ans sur site. Les contraintes liées à la réparation ou au remplacement du matériel informatique après expiration de la garantie seront explicitées (ex. fourniture obligatoire par le constructeur, spécifications minimales, marque, délais…).

S'agissant de la partie logicielle, la durée et la nature de la maintenance informatique au-delà de la période de garantie (mises à jour mineures et majeures, etc.) seront précisées. Cette durée ne devra pas être inférieure à 5 ans (garantie incluse).

2.3. Lot n°1 (MEB) : Bilan des prestations facultatives

Il est donc demandé au soumissionnaire de chiffrer et inclure dans son offre les options suivantes :

- Capacité d'imagerie en transmission de grilles MET
- Dispositif de refroidissement par effet Peltier
- Automatisation logicielle des opérations du MEB
- Amélioration et/ou détecteur complémentaire pour la microanalyse X
- Reprise de l'ancien équipement

2.4. Lot n°2 (Métalliseur) : Description détaillée de la prestation

En complément du nouveau microscope électronique à balayage, la plateforme souhaite également renouveler son matériel de « métallisation » pour la préparation des échantillons isolants.
Les caractéristiques minimales demandées pour ce matériel sont les suivantes :

- Capacité de dépôt de couches minces de métaux *et* de carbone amorphe
- Méthode de dépôt de type pulvérisation ou évaporation ; le système permettra de changer aisément la nature du dépôt, par exemple en autorisant l'installation de plus d'une cible dans l'enceinte et/ou la substitution rapide et aisée de la ou des cible(s) avant le démarrage
- Fonctionnement en vide secondaire
- Platine motorisée au moins en rotation ; une capacité de mouvement planétaire serait un plus
- Platine à inclinaison réglable, là encore pour optimiser la couverture d'objets à la topographie complexe
- Porte-objet(s) pouvant accueillir au moins cinq plots à tige de 12,5 mm
- Dispositif de mesure d'épaisseur des dépôts (balance à quartz)
- A la livraison, le système devra disposer de tous les accessoires et consommables nécessaires pour être capable d'effectuer au choix des dépôts de platine (Pt), d'or/palladium (Au/Pd) et de carbone (C).
  S'il l'estime pertinent, le soumissionnaire pourra proposer une variante de son offre.

2.5. Lot n°2 (Métalliseur) : Garantie et maintenance

La durée de la garantie sur cet équipement sera d'au moins 2 ans (sur site) à partir de la validation de l'installation.

Les opérations de maintenance requises ou recommandées, et leurs fréquences, seront précisées, en particulier pour ce qui est du système de pompage. La durée de vie attendue des consommables (matériaux de dépôt) et leur coût seront également indiqués.

Prestation supplémentaire facultative n°1 : En option, le soumissionnaire pourra proposer une extension de garantie, ou un contrat de maintenance à couverture étendue, pour une période de 3 ans supplémentaires.

2.6. Formation

Les formations nécessaires à la bonne utilisation des matériels et logiciels par les personnels de la plateforme seront comprises dans les prestations du titulaire. Les formations concerneront quatre personnes.

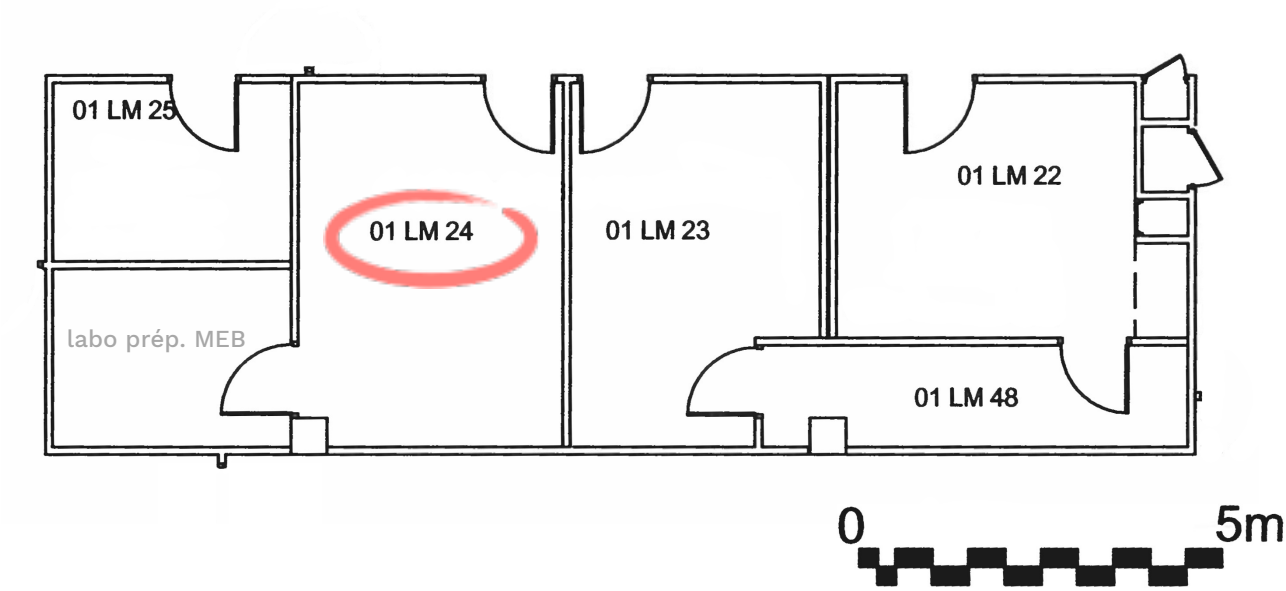
ANNEXE A: Local d'Installation

Le microscope électronique à balayage est destiné à être installé dans un local du CHU de Tours, site Bretonneau : Laboratoire de Biologie Cellulaire - Microscopie Électronique CHU de Tours - site Bretonneau

2 boulevard Tonnellé

37000 TOURS

Bâtiment B2A, 1er étage, pièce 01LM24



Le local a une surface utile de ~3,6x4,9 m, et est accessible par une porte standard d'une ouverture de 90x203 cm.

Il se situe à proximité d'un local technique (01LM48, cf. plan ci-dessus), qui peut recevoir au besoin des équipements périphériques tels que transformateur, pompe primaire, système de refroidissement en circuit fermé (chiller), compresseur, etc.