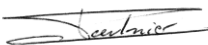




PROJET PICOMAX

SPECIFICATION TECHNIQUE DE BESOIN

FOURNITURE, INSTALLATION ET FORMATION A L'USAGE D'UN MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE DE TABLE POUR LE DPHY

	Rédacteur	Vérificateurs		Approbateur
Fonction	Ingénieur Recherche	Responsable AQ étude		Responsable de l'étude
Nom	T. PAULMIER			
Visa				

GEN-F24-3 (GEN-SCI-003)

HISTORIQUE

Version Révision	Date de mise en application	Cause et/ou nature de l'évolution
1.0	22/05/2026	Création
1.1	29/05/2026	Mise à jour
1.2	01/06/2026	Mise à jour
1.3	03/06/2026	Mise à jour

SOMMAIRE

1	OBJET.....	4
2	DOMAINE D'APPLICATION.....	4
3	DÉFINITIONS ET ABRÉVIATIONS.....	4
4	PRESENTATION DU PRODUIT.....	4
4.1	MISSION	4
4.2	PRESENTATION FONCTIONNELLE.....	5
4.3	PRINCIPAUX CONSTITUANTS	5
5	EXIGENCES	6
5.1	EXIGENCES FONCTIONNELLES	6
5.1.1	Fonction Principale : FP.....	6
5.1.2	Exigences de performances	6
5.2	EXIGENCES TECHNIQUES.....	6
5.3	EXIGENCES OPERATIONNELLES	8
5.3.1	Exigences sur la durée de vie	8
5.3.2	Etalonnage et maintenance	8
5.4	EXIGENCES D'INTERFACES	8
5.4.1	Interface 1 : MEB – Ordinateur :	8
6	CONTRAINTES IMPOSEES	9
6.1	CONTRAINTES D'ENVIRONNEMENT	9
6.1.1	Contraintes de l'environnement sur le produit	9
6.2	CONTRAINTES LOGISTIQUES ET DE MISE EN ŒUVRE	9
6.2.1	Livraison	9
6.2.2	Moyens de test et de contrôle	9
6.2.3	Documentation support.....	9
6.2.4	Garanties	9
7	VERIFICATIONS ET EPREUVES DE RECEPTION.....	9

1 OBJET

Ce document décrit les spécifications fonctionnelles, opérationnelles et d'interface pour l'acquisition d'un microscope électronique à balayage (MEB) de table. Il a pour but de définir les exigences techniques et fonctionnelles nécessaires à l'achat de cet équipement, afin de répondre aux besoins d'analyse de surface pour des applications scientifiques au sein du département DPHY de l'ONERA Toulouse. Le MEB sera utilisé pour étudier la morphologie et éventuellement la composition de surface d'échantillons soumis à des conditions proches de l'environnement spatial rencontré par les satellites (érosion plasma, contamination, dégazage, etc.).

2 DOMAINE D'APPLICATION

Analyse de la morphologie de surface d'échantillons avant et après traitement sur les bancs de tests de l'ONERA :

- Erosion des échantillons par plasma chimiquement inertes ou réactifs
- Contamination par composant organiques et non-organiques

3 DÉFINITIONS ET ABRÉVIATIONS

- ONERA : Office National d'Etude et de Recherche Aérospatiale
- FP : Fonction Principale
- FC : Fonction Contrainte
- PSE-I : Prestation Supplémentaire Eventuelle Imposée
- PSE-F : Prestation Supplémentaire Eventuelle Facultative

Les spécifications techniques sont déclinées, dans la matrice de conformité, suivant deux niveaux d'importance :

- **(P)** : fonction primordiale et impérative. Exigence ou spécification impérative dont l'existence et le niveau minimal ne sont pas négociables.
- **(M)** : fonction modulable. Fonction importante mais non indispensable.

Numérotation des contraintes : [Cy-xx]

Numérotation des exigences : [Ey_xx]

BSE : BackScattered Electrons

CE : Contraintes d'Environnement

CL : Contraintes Logistiques

EDS : Energy-Dispersive Spectroscopy (Spectroscopie à dispersion d'énergie)

EF : Exigences Fonctionnelles

EI : Exigences d'Interface

EO : Exigences Opérationnelles

ET : Exigences Techniques

SEE : Secondary Electron Emission

4 PRESENTATION DU PRODUIT

4.1 MISSION

Dans le cadre de nos activités, nous visons à améliorer notre compréhension des effets de l'environnement spatial sur les surfaces de satellites. Pour atteindre cet objectif, nous envisageons

d'acquérir un microscope électronique à balayage de table. Cet équipement sera utilisé pour caractériser la morphologie de surface d'échantillons représentatifs des surfaces de satellites, avant et après leur exposition à des phénomènes tels que l'érosion plasma due à l'environnement spatial et à la propulsion électrique sur satellites, ainsi que la contamination induite par le dégazage des polymères de surface.

Besoins et Attentes pour le MEB de table

- **Principal** : Imagerie de surface et analyse de la topographie de surface sur échantillons conducteurs et non-conducteurs, analyse et quantification de la composition élémentaire de surface.
- **Exigences Clés pour l'Équipement** :
 - **Précision et Résolution Élevées** .
 - **Facilité d'Utilisation et d'Analyse des Données** pour une intégration efficace dans nos workflows existants.

Intégration Prévue du MEB

- **Déploiement** : Intégrer l'équipement dans notre infrastructure de laboratoire, en garantissant une installation et une configuration optimales.
- **Utilisation Opérationnelle** :
 1. **Calibration et Vérification** initiales pour s'assurer de la conformité aux spécifications.
 2. **Mesures Systématiques** des échantillons de satellite avant et après exposition aux conditions environnementales simulées.
 3. **Analyse Comparative** des données pour identifier les changements de morphologie de surface et informer nos décisions en matière de conception et de durée de vie.

4.2 PRESENTATION FONCTIONNELLE

Le MEB doit permettre à l'opérateur de réaliser une caractérisation qualitative et quantitative de la topographie de surface d'un échantillon.

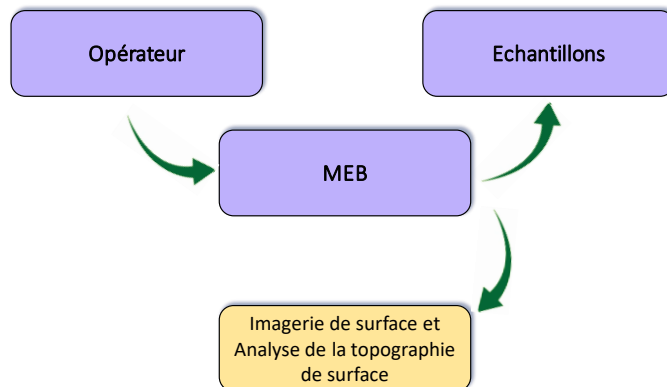


Figure 1 Diagramme fonctionnel du MEB de table

4.3 PRINCIPAUX CONSTITUANTS

Les principaux composants du MEB de table sont :

- Système numérique d'interfaçage (PC),
- MEB,
- Plateforme porte-échantillon,
- Système de protection du MEB durant la mesure,
- Système de pompage et de remise à l'air.

5 **EXIGENCES**

5.1 **EXIGENCES FONCTIONNELLES**

5.1.1 Fonction Principale : FP

Assurer l'imagerie et l'analyse de topographie de surface

5.1.2 Exigences de performances

[EF-01] Niveaux de vide : possibilité de travailler à au moins deux niveaux de vides différents **(P)** :

- Vide secondaire pour analyse sur surfaces conductrices ou peu chargeantes
- Un niveau de vide dégradés pour l'analyse sur échantillons isolants chargeants

[EF-02] Temps de pompage rapide jusqu'au niveau de vide secondaire, inférieur à 5 minutes **(P)**

[EF-03] Grandissement proposé : $\times 10$ à $\times 100\,000$ (en format polaroid - Grandissement = taille entre la zone vue et la zone balayée) et $\times 200\,000$ en affichage sur écran **(P)**

[EF-04] Le fournisseur devra proposer au moins trois énergies différentes pour le canon à électrons en incluant les énergies : 5, 10 et 15 keV **(P)**

[EF-05] Garantir une résolution latérale en vide poussée inférieure ou égale à 10 nm en électrons secondaires sur échantillons parfaitement conducteurs **(P)**

[EF-06] Proposer deux niveaux de vide secondaire dégradé **(M)**

5.2 **EXIGENCES TECHNIQUES**

[EF-07] Canon à électrons constitué d'un filament de Tungstène installé et pré-réglé sur Wehnelt **(P)**

[EF-08] Chambre équipée d'un port EDS, caméra de navigation et de position, SE et BSE **(P)**

[EF-09] Photographie de l'échantillon à la fermeture de la porte du support d'échantillons sur la chambre à vide **(P)**

[EF-010] Présence d'une caméra de navigation permettant le repérage et la sélection des zones d'imagerie et d'analyse **(P)**

[EF-011] Il doit être possible de faire de l'imagerie en électrons rétrodiffusés dans le mode Low Vacuum **(P)**

[EF-012] Mode de détection des électrons **(P)** :

- Détecteurs d'électrons secondaires de type Everhart-Thornley
- Détecteurs d'électrons rétrodiffusés, au moins 4 secteurs semi-conducteurs pour :
 - Mode Composition
 - Mode Topographie

[EF-013] Taille maximale d'échantillons **(P)** :

- a. Largeur ou diamètre : min. 50 mm
- b. Hauteur : min. 30 mm

[EF-014] Platine porte-échantillon motorisée 2 axes **(P)** :

- Déplacement X : min. +/- 20 mm
- Déplacement Y : min. +/- 20 mm
- Axe vertical Z : réglable manuel avant d'insérer l'échantillon – Déplacement min. : 40 mm

[EF-015] Possibilité de faire des spectres EDS en Low Vacuum **(P)**

[EF-016] Mémoire de position des échantillons **(P)**

[EF-017] Réglage automatique et manuelle de la mise au point (focus, astigmatisme) **(P)**

[EF-018] Intensité du filament : proposer au minimum trois modes de courant de fonctionnement du filament **(P)**

[EF-019] L'instrument doit permettre de réaliser les mesures suivantes **(P)** :

- Mesures de la longueur d'un segment
- Mesure de l'angle entre deux segments partant d'un même point central
- Mesure entre deux lignes parallèles

[EF-020] Le système ne doit pas avoir besoin de gaz et d'eau pour fonctionner. **(P)**

[EF-021] Les accessoires suivants devront être fournis à la livraison du MEB **(P)** :

- 1 porte objet réglable en hauteur (diamètre min. : 25 mm)
- Inserts multi-supports pour le porte objet (plateau multi stub)

[EF-022] Fourniture des pompes primaire et secondaire permettant la mise sous vide du MEB **(P)**

[EF-023] Possibilité d'avoir un cinquième détecteur d'électrons rétrodiffusés désaxé selon un angle donné pour une visualisation angulaire de la topographie **(M)**

[EF-024] Possibilité de tilt et rotation de la platine **(M)**:

- Tilt suivant axe horizontal : min. -10° à +40°
- Rotation suivant axe vertical : 360°

[EF-025] Proposer la fourniture Wehnelt + filament précentré en usine pour éviter les ajustements manuels sur site **(M)**

[EF-026] Proposer la possibilité de réaliser des mesures d'étalonnage **(M)**

[PSE-F-01] Proposer et chiffrer la fourniture d'un lot d'au moins 3 filaments ou filaments + Wehnelt

[PSE-I-01] Proposer et chiffrer séparément dans l'offre la fourniture, l'installation et la réception d'un système de mesure EDS avec logiciel de pilotage permettant les opérations suivantes :

- Qualitatif
- Quantitatif
- Cartographie spectrale quantitatives
- Scan en ligne
- Logiciel intégré au MEB
- Des fonctions de visualisation de l'EDS spectres et cartographie en temps réel (hors acquisition)

5.3 **EXIGENCES OPERATIONNELLES**

5.3.1 Exigences sur la durée de vie

[EO-01] Durée minimale garantie pour le filament Tungstène : 100 h

5.3.2 Etalonnage et maintenance

[EO-02] Fournir le coût des différentes pièces de remplacement : Filament, Wehnelt, pompes, etc,...

[EO-03] Le prestataire devra proposer des interventions rapides (durée à indiquer dans l'offre) et sur site en cas de panne subite (M)

[PSE-F-02] Le prestataire devra proposer, détailler et chiffrer séparément dans l'offre des maintenances annuelles préventives comprenant les étalonnages éventuels

5.4 **EXIGENCES D'INTERFACES**

5.4.1 Interface 1 : MEB – Ordinateur :

[EI-01] Asservissement du MEB à partir d'un ordinateur d'installation expérimentale et enregistrement des mesures sur ce même appareil.

[EI-02] Fourniture d'un système informatique par le prestataire du MEB. Le fournisseur devra justifier techniquement de la nécessité éventuelle d'une livraison d'un PC par lui-même pour le pilotage et le contrôle des instruments.

[EI-03] Fourniture, en fixe, du ou des logiciels permettant obligatoirement les opérations suivantes :

- Pilotage des paramètres de contrôle du MEB
- Acquisition des images et enregistrement au format
- Editions des rapports de synthèse sous format .pptx, .docx, et/ou .pdf
- Visualisation 3D des images
- Possibilité de superposer images SEE / BSE et images EDS sur la même figure
- Affichage en direct: SEE / BSE, 3D en vide poussé et BSE / 3D en vide dégradé
- Combinaison / Superposition de plusieurs images
- Sélection du mode de vide
- Contrôle des mesures EDS

[EI-04] Proposer un menu de maintenance en particulier pour la description du changement de filament

[EI-05] Enregistrement possible des images en .tiff, .jpeg, .png, ...

[EI-06] Enregistrement des données issues des logiciels de post-traitement sous format .xls, .csv, .txt,

...

[EI-07] Proposer un menu de calibration des mesures dimensionnelles (M)

[PSE-F-03] Proposer et chiffrer séparément dans l'offre la fourniture d'un logiciel permettant de traiter les images 3D afin d'en extraire les paramètres de rugosité (R_a , R_q , ...)

6 CONTRAINTES IMPOSEES

6.1 CONTRAINTES D'ENVIRONNEMENT

6.1.1 Contraintes de l'environnement sur le produit

6.1.1.1 Prévention des dégradations

[CE-01] L'équipement doit être compatible dans un environnement standard de laboratoire.

- Température de 20°C à 25°C
- Hygrométrie entre 40% et 65%

6.2 CONTRAINTES LOGISTIQUES ET DE MISE EN ŒUVRE

[CL-01] Livraison du MEB sur site.

[CL-02] Installation du MEB sur site.

[CL-03] Formation du personnel ONERA à l'utilisation du MEB sur une journée minimum

6.2.1 Livraison

Le MEB sera livré au centre ONERA de Toulouse :

**2, Avenue Marc Pégégrin,
31400 Toulouse, France.**

[CL-04] Proposer un délai de livraison inférieur à 12 mois

6.2.2 Moyens de test et de contrôle

[CL-05] Le prestataire devra proposer des échantillons référence permettant de valider et tester le bon fonctionnement du MEB. (M)

6.2.3 Documentation support

[CL-06] Fourniture d'un manuel d'utilisation et/ou de tutoriel pour l'utilisation du MEB

La documentation doit inclure :

- Manuels d'instructions
- Fiches techniques de données

6.2.4 Garanties

[PSE-F-04] Proposer et chiffrer une extension de garantie d'une année supplémentaire par rapport à la proposition de base

7 VERIFICATIONS ET EPREUVES DE RECEPTION

Les opérations de vérifications nécessaires à l'admission des prestations démarrent à compter de la date de mise en service du système par le titulaire.

Cette constatation résulte de l'exécution des tests fonctionnels spécifiques du système.

La vérification des performances du MEB et de ses périphériques est réalisée conformément au protocole de tests transmis par le titulaire dans le cadre de sa réponse technique.

La procédure relative aux tests fonctionnels de l'équipement est réalisée à compter de la mise en service du système.

Les résultats seront consignés sous forme de rapport et seront comparés avec les données fournies.