



PROJET PICOMAX-E

SPECIFICATION TECHNIQUE DE BESOIN : PROFILOMETRE A AIGUILLE

	Rédacteur	Vérificateurs		Approbateur
Fonction	Ingénieur Recherche	Responsable AQ étude		Responsable de l'étude
Nom	M. VILLEMANT			
Visa				

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

HISTORIQUE

Version Révision	Date de mise en application	Cause et/ou nature de l'évolution
0.1	18/07/2025	Création
0.2	11/09/2025	Modifications DPHY
0.3	12/09/2025	Modifications DPHY
0.4	19/09/2025	Modifications DPHY
1.0	23/09/2025	Modifications DPHY
1.1	24/09/2025	Modifications DPHY
1.2	02/10/2025	Modifications DPHY
1.3	02/10/2025	Modifications DPHY

SOMMAIRE

1	OBJET.....	4
2	DOMAINE D'APPLICATION.....	4
3	DOCUMENTS APPLICABLES ET DE RÉFÉRENCE	4
4	DÉFINITIONS ET ABRÉVIATIONS	4
5	PRESENTATION DU PRODUIT.....	5
5.1	MISSION	5
5.2	PRESENTATION FONCTIONNELLE.....	5
5.3	PRINCIPAUX CONSTITUANTS	6
6	EXIGENCES	6
6.1	EXIGENCES FONCTIONNELLES	6
6.1.1	Fonction Principale : FP :.....	6
6.1.2	Mode de fonctionnement	6
6.1.3	Exigences de performances	6
6.2	EXIGENCES TECHNIQUES.....	8
6.3	EXIGENCES OPERATIONNELLES	8
6.3.1	Exigences de Sûreté de Fonctionnement.....	8
6.3.2	Exigences sur la durée de vie	9
6.3.3	Étalonnage et maintenance	9
6.4	EXIGENCES D'INTERFACES	9
6.4.1	Interface 1 : Profilomètre – Ordinateur :.....	9
7	CONTRAINTES IMPOSEES	10
7.1	CONTRAINTES D'ENVIRONNEMENT	10
7.1.1	Contraintes de l'environnement sur le produit	10
7.2	CONTRAINTES LOGISTIQUES ET DE MISE EN ŒUVRE	10
7.2.1	Transport et manutention.....	10
7.2.2	Moyens de test et de contrôle	10
7.2.3	Documentation support.....	10
8	VERIFICATIONS ET EPREUVES DE RECEPTION.....	10

1 OBJET

Ce document décrit les spécifications fonctionnelles, opérationnelles et d'interface pour l'acquisition d'un profilomètre à aiguille. Il a pour but de définir les exigences techniques et fonctionnelles nécessaires à l'achat de cet équipement, afin de répondre aux besoins de mesure de morphologie des surfaces pour des applications scientifiques au sein du département DPHY du centre de Toulouse. Le profilomètre sera utilisé pour étudier la modification de la morphologie 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

Mesure quantitative de la morphologie de surface d'échantillons avant et après traitement sur les bancs de mesure ONERA :

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

3 DOCUMENTS APPLICABLES ET DE RÉFÉRENCE

Documents applicables :

Ce sont les documents (amont ou aval) dont l'application est obligatoire. Ils sont repérés dans le texte par leur numéro dans la liste.

[DA1] Marché, cahier des charges	<référence>
[DA2] Spécifications d'interface.....	<référence>
[DA3] Normes et standards à respecter	<référence>

Documents de référence :

Ce sont les documents qui sont utilisables comme support, bibliographie, etc. Ils sont repérés dans le texte par leur numéro dans la liste.

[DR1] Titre.....	<référence>
[DR2]	<référence>

4 DÉFINITIONS ET ABRÉVIATIONS

- ONERA : Office National d'Etude et de Recherche Aérospatiale
- FP : Fonction Principale
- FC : Fonction Contrainte

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] :

CE : Contraintes d'Environnement

CL : Contraintes Logistiques

EF : Exigences Fonctionnelles

EI : Exigences d'Interface

EO : Exigences Opérationnelles

ET : Exigences Techniques

5 PRESENTATION DU PRODUIT

5.1 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 profilomètre à aiguille de haute précision. 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 Profilomètre à Aiguille

- **Principal** : Mesurer avec précision les changements de morphologie de surface des échantillons de satellites exposés aux conditions environnementales spatiales.
- **Exigences Clés pour l'Équipement** :
 - **Précision et Résolution Élevées** pour capturer les subtiles variations de surface.
 - **Facilité d'Utilisation et d'Analyse des Données** pour une intégration efficace dans nos workflows existants.

Intégration Prévue du Profilomètre à Aiguille

- **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.

5.2 PRESENTATION FONCTIONNELLE

Le profilomètre à aiguille doit permettre à l'opérateur de réaliser une caractérisation quantitative de la morphologie de surface d'un échantillon.

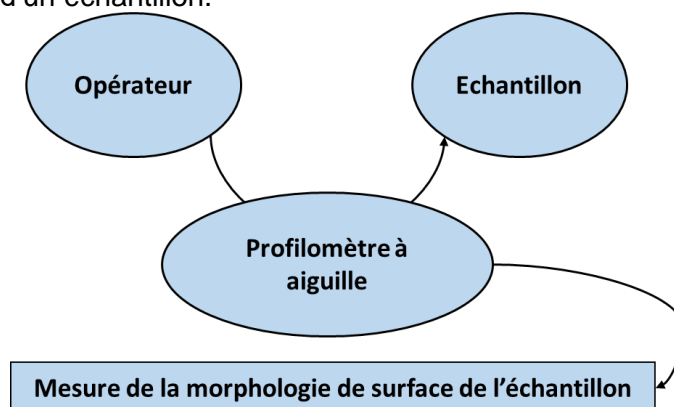


Figure 1 Diagramme fonctionnel du profilomètre à aiguille

5.3 PRINCIPAUX CONSTITUANTS

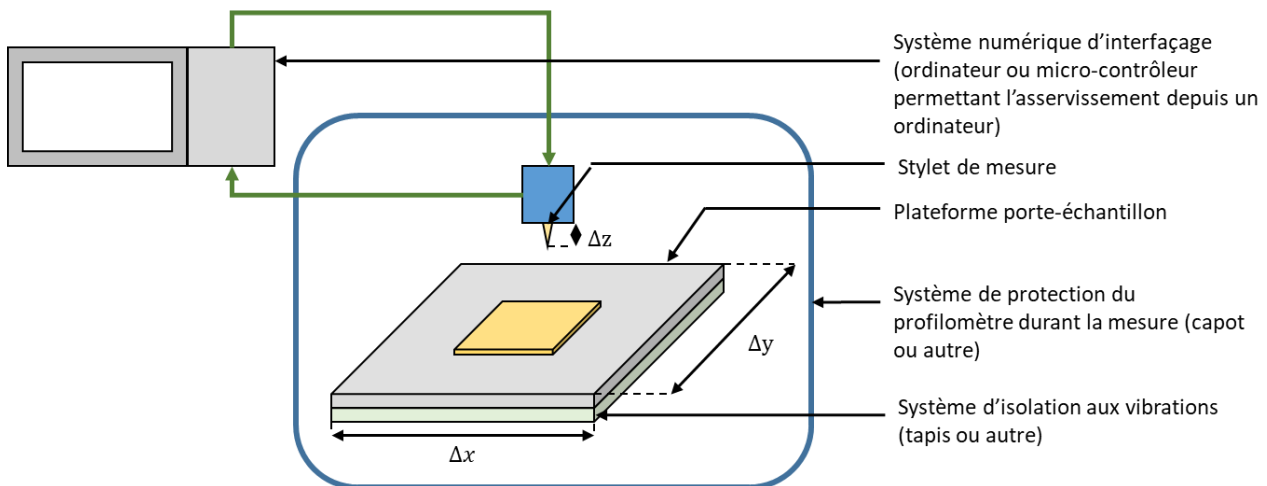


Figure 2 Constituants du profilomètre à aiguilles

Les principaux composants du profilomètre optique comprennent :

- Système numérique d'interfaçage (ordinateur ou microcontrôleur permettant l'asservissement depuis un ordinateur)
- Stylet de mesure
- Plateforme porte-échantillon
- Système de protection du profilomètre durant la mesure (capot ou autre)
- Système d'isolation aux vibrations (tapis ou autre)

6 EXIGENCES

6.1 EXIGENCES FONCTIONNELLES

6.1.1 Fonction Principale : FP :

Assurer la mesure de la morphologie de surface de l'échantillon

6.1.2 Mode de fonctionnement

[EF-01] La pointe sera au contact de l'échantillon. Le déplacement vertical (Z) sera motorisé.

6.1.3 Exigences de performances

6.1.3.1 Positionnement à la surface de l'échantillon

[EF-02] Le déplacement du balayage sera réalisé par une motorisation distincte des moteurs de déplacement XY. La solution vis sans fin pour ce déplacement sera évitée (dégradation des performances avec le temps).

6.1.3.2 Mesures 3D

[EF-03] L'instrument doit permettre de réaliser des mesures en 3D, par balayages successifs.

[EF-04] Lors de la mesure 3D l'instrument doit permettre de lier deux lignes de balayage successives. Toute solution type recentrage du Z entre deux balayages sera rejetée.

6.1.3.2.1 Amplitude de la mesure

[EF-05] Parcourir une surface suffisante au cours de la mesure :

- Amplitude maximale selon l'axe x : $\Delta x_{\max} \geq 10 \text{ mm}$

- Amplitude maximale selon l'axe y : $\Delta y_{\max} \geq 10 \text{ mm}$
- Amplitude maximale selon l'axe z : $\Delta z_{\max} \geq 1 \text{ mm}$

6.1.3.2.2 Résolution de la mesure

[EF-06] Assurer une résolution spatiale suffisante au cours de la mesure :

- Résolution minimale selon l'axe x : $\delta x \leq 100 \text{ nm}$
- Résolution minimale selon l'axe y : $\delta y \leq 1 \text{ }\mu\text{m}$
- Résolution minimale selon l'axe z : $\delta z \leq 10 \text{ nm}$

[EF-07] L'instrument doit compenser, par une correction automatique de forme, l'erreur géométrique introduite par la forme et l'inclinaison du stylet par rapport à l'échantillon.

[EF-08] L'instrument doit permettre le balayage multiple d'une même surface et une bonne répétabilité et précision statistique de la mesure de morphologie de surface. La répétabilité de l'instrument sera garantie de 0,5 nm au moins en z.

[EF-09] Assurer une mesure en un temps raisonnable :

- Vitesse de déplacement linéaire : sur un stylet avec un rayon de courbure de la pointe inférieur à 5 μm et avec une force appliquée inférieure à 5 mg, la vitesse de mesure linéaire devra être supérieure ou égale à 50 $\mu\text{m/s}$.

[EF-010] Ajustement de la Force Appliquée par le Stylet :

- **Gamme de force :**
 - Minimum $\leq 0,10 \text{ mg}$
 - Maximum $\geq 10 \text{ mg}$
- Sélection de la force appliquée se faisant par le clavier de commande de l'appareil.
- L'intégralité de l'amplitude de déplacement en Z (1mm) ainsi que la gamme de force doit être disponible sur la même tête de mesure sans dégradation des performances.

[EF-011] La force appliquée au stylet devra pouvoir être ajustée pour éviter un endommagement prononcé des échantillons fragiles.

[EF-012] L'équipement doit intégrer une caméra couleur (minimum 3 M pixels) avec zoom digital, connectée au système de pilotage PC via couplage optique à 45°, assurant une image nette sur l'ensemble de la zone de contact du stylet.

[EF-013] L'équipement doit autoriser l'utilisation de stylets de tailles variables sans visserie, avec un changement rapide et facile, et assurer une reproductibilité de positionnement pour des mesures immédiates.

[EF-014] Choix et disponibilité de stylets : l'instrument doit pouvoir être livré avec un stylet de rayon de courbure 2 μm et un de rayon 50nm. Les stylets auront un angle de cône inférieur à 45°. Le fournisseur s'engage également à pouvoir fournir des stylets de rayons de courbures allant de 0,05 μm à 25 μm en diamant.

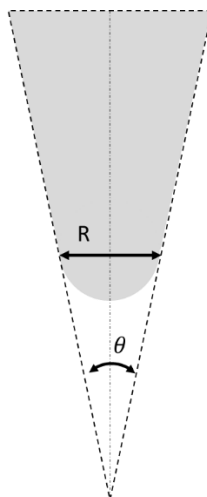


Figure 3 Schéma de la pointe du stylet avec rayon de courbure R et angle de cône θ

[EF-015] Présence d'un système anti-vibration : L'instrument pourra être équipé en options avec des pieds d'isolation antivibratoire à suspension pneumatique intégrés de façon à pouvoir être placé sur une table type « paillasse ».

[EF-016] Assurer la protection de l'échantillon contre l'environnement de laboratoire au cours de la mesure : présence d'un capot de protection ou autre système équivalent.

6.2 EXIGENCES TECHNIQUES

[ET-01] Tolérer un échantillon de taille minimale :

- Dimensions minimales $\leq 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ ou 20 mm de diamètre

[ET-02] Tolérer un échantillon de taille maximale :

- Dimensions maximales x et $y \geq 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ ou 100 mm de diamètre
- Epaisseur maximale $h \geq 50 \text{ mm}$

[ET-03] L'instrument doit être doté d'une platine permettant de plaquer des échantillons par aspiration.

[ET-04] Possibilité de déplacer la position du stylet (motorisé) sur la surface de l'échantillon sur une plage maximale suivante avant démarrage de mesure :

- Déplacement suivant axe **X** : $L_{x_{\max}} \geq 100 \text{ mm}$
- Déplacement suivant axe **Y** : $L_{y_{\max}} \geq 100 \text{ mm}$
- Répétabilité du positionnement de $\pm 10 \mu\text{m}$
- Déplacement **Z** motorisé avec approche automatique de la surface de l'échantillon puis contact

[ET-05] Permettre une rotation manuelle ou motorisée de la platine porte-échantillon sur 360°

[ET-06] Tolérer un échantillon de poids maximal supérieur ou égal à : 200 g

6.3 EXIGENCES OPERATIONNELLES

6.3.1 Exigences de Sûreté de Fonctionnement

[EO-01] Permettre un remplacement facile du stylet en cas de dégradation de ce dernier.

[EO-02] L'appareil devra disposer d'un système d'arrêt d'urgence pour protéger l'opérateur.

6.3.2 Exigences sur la durée de vie

[EO-03] Dans une utilisation standard, le profilomètre devra pouvoir être utilisé au moins une année sans avoir besoin de maintenance, soit plusieurs centaines de points de mesure sans révision. Le profilomètre sera prévu pour une utilisation courante de 200 mesures par an avec un pic à plusieurs dizaines de points de mesure par jour lors de son utilisation la plus intensive.

[EO-04] Fournir les informations sur le prix des éléments de remplacement de l'équipement : stylets utilisés sur équipement, étalon de calibration.

6.3.3 Etalonnage et maintenance

[EO-05] Le fabricant doit offrir une solution de maintenance et révision régulière de l'appareil pour plusieurs années, assurée par lui-même ou un partenaire.

6.4 EXIGENCES D'INTERFACES

6.4.1 Interface 1 : Profilomètre – Ordinateur :

6.4.1.1 Rôle de l'interface :

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

[EI-02] Traitement des profils pour calcul des paramètres de rugosité et des hauteurs de marche.

6.4.1.2 Description statique :

[EI-03] L'interface d'acquisition sera de type PC standard avec un écran plat >20" un disque dur de taille supérieure à 250 Gb minimum, 4 GB de RAM minimum, le logiciel devra être ergonomique et facile d'utilisation.

[EI-04] Un même logiciel devra permettre de piloter l'instrument et de traiter les données.

[EI-05] L'instrument doit permettre la visualisation simultanée des paramètres de mesures, de l'image vidéo et du profil mesuré.

[EI-06] Le logiciel proposé permettra de traiter les mesures et d'éditer des rapports de façon simple. Le logiciel sera livré avec une licence site (installation sur un nombre de postes non limité).

[EI-07] Le logiciel doit permettre l'extraction de multiples paramètres (rugosité, ondulation, formes, etc.) avec possibilité de filtrage (passe haut/passe bas) ou sans.

[EI-08] Le logiciel doit pouvoir traiter les données 2D et 3D.

[EI-09] Le logiciel doit permettre l'exportation des données dans des formats ouverts (ex : CSV, JSON, XML, XLSX, etc.) et des images/vidéos en JPEG (ou équivalent), hors format propriétaire.

[EI-010] Une base de données doit se créer automatiquement lors de la programmation de plusieurs balayages

[EI-011] Le logiciel doit intégrer des fonctions telles que la remise à niveau cylindrique ou sphérique, le repérage et l'analyse des régions répondant à certains critères, le calcul de volume, etc. permettent de déterminer facilement les paramètres intéressants pour l'utilisateur.

[EI-012] L'ajustement d'échelle est automatique ou sélectionné par l'opérateur.

7 CONTRAINTES IMPOSEES

7.1 CONTRAINTES D'ENVIRONNEMENT

7.1.1 Contraintes de l'environnement sur le produit

7.1.1.1 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%
- Niveau sonore inférieur à 60 dB

[CE-02] Présence d'un capot de protection pour protéger l'échantillon de l'environnement de laboratoire.

7.2 CONTRAINTES LOGISTIQUES ET DE MISE EN ŒUVRE

[CL-01] Livraison du profilomètre sur site.

[CL-02] Installation du profilomètre sur site.

[CL-03] Formation du personnel ONERA à l'utilisation du profilomètre à aiguille

7.2.1 Transport et manutention

Le profilomètre sera livré au centre ONERA de Toulouse :

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

7.2.2 Moyens de test et de contrôle

[CL-04] Le système devra inclure des étalons de rugosité. Le fournisseur proposera une gamme de marche étalon certifiée comprise entre quelques nanomètres et 1 mm environ. L'utilisateur doit pouvoir réaliser aisément l'étalonnage de l'instrument.

7.2.3 Documentation support

[CL-05] Fourniture d'un manuel d'utilisation et/ou de tutoriel pour l'utilisation du profilomètre à aiguille

La documentation doit inclure :

- Manuels d'instructions
- Fiches techniques de données
- Schémas électriques
- Dessins techniques (pour commander des pièces de rechange)

8 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 profilomètre 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.