



**ETABLISSEMENT PUBLIC DU MUSEE DU LOUVRE**

**DIRECTION DE L'ARCHITECTURE, DE LA MAINTENANCE ET DES JARDINS**

**CONTROLE DE LA STRUCTURE ET DE LA VERRIERE DE LA PYRAMIDE**

**2026-2030**

**CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES (CCTP)**

## SOMMAIRE

|                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ARTICLE 1 - GENERALITES.....</b>                                                                    | <b>3</b>  |
| 1.1 – CONSISTANCE DES PRESTATIONS DE MAINTENANCE EN GARANTIE TOTALE DU SYSTEME DE CONTROLE .....       | 3         |
| 1.2 – CONSISTANCE DES PRESTATIONS DE CONTROLE .....                                                    | 3         |
| 1.3 – PERIMETRE DES OUVRAGES.....                                                                      | 3         |
| <b>ARTICLE 2 – PART FORFAITAIRE.....</b>                                                               | <b>4</b>  |
| 2.1 – EXPLOITATION DU SYSTEME DE CONTROLE .....                                                        | 4         |
| 2.1.1 - <i>Récupération et archivage hebdomadaire des mesures.....</i>                                 | <i>4</i>  |
| 2.1.2 - <i>Validation et conversion mensuelle des mesures.....</i>                                     | <i>4</i>  |
| 2.1.3 - <i>Présentation et analyse annuelle des mesures.....</i>                                       | <i>5</i>  |
| 2.2 MAINTENANCE EN GARANTIE TOTALE DU SYSTEME DE CONTROLE .....                                        | 6         |
| 2.2.1 - <i>Maintenance corrective – Diagnostic .....</i>                                               | <i>6</i>  |
| 2.2.2 – <i>Maintenance corrective – Établissement des éventuels dysfonctionnements.....</i>            | <i>7</i>  |
| 2.2.3 - <i>Maintenance corrective – Réparation ou remplacement des éléments en cause..</i>             | <i>7</i>  |
| 2.3 – RELEVES TOPOMETRIQUES ET LASERGRAMMETRIQUES .....                                                | 8         |
| 2.3.1 - <i>Nivellement de la rive de la grande pyramide .....</i>                                      | <i>8</i>  |
| 2.3.2 - <i>Relevé lasergrammétrique de la structure depuis l'intérieur de la grande pyramide 10</i>    |           |
| 2.3.3 - <i>Relevé lasergrammétrique de la paroi vitrée depuis l'extérieur de la grande pyramide 12</i> |           |
| <b>ARTICLE 3 – PART A BONS DE COMMANDE .....</b>                                                       | <b>14</b> |
| 3.1 - INSPECTION VISUELLE EXTERIEURE DE LA PAROI VITREE DE LA GRANDE PYRAMIDE ....                     | 14        |
| 3.2 - INSPECTION VISUELLE INTERIEURE DE LA STRUCTURE ET DE LA PAROI VITREE DE LA GRANDE PYRAMIDE ..... | 16        |
| <b>ARTICLE 4 – AUTRES PRESTATIONS .....</b>                                                            | <b>19</b> |
| 4.1 VACATION DE PERSONNEL .....                                                                        | 19        |
| 4.2 MATERIEL SUPPLEMENTAIRE .....                                                                      | 19        |
| 4.3 RAPPORT D'ANALYSE SUPPLEMENTAIRE.....                                                              | 19        |
| 4.3.1 <i>Rapport d'analyse à la demande de la MOA .....</i>                                            | <i>19</i> |
| 4.3.2 <i>Rapports dans le cadre d'un changement de vitrages .....</i>                                  | <i>19</i> |

## **ARTICLE 1 - GENERALITES**

L'objet de ce marché consiste en la surveillance de la structure de la grande pyramide de Pei, construite en 1989 à l'occasion du grand Louvre. Cette structure étant unique au monde, elle fait l'objet d'une surveillance de contrôles continus et périodiques depuis sa mise en service.

Dans le cadre du présent marché, le titulaire doit effectuer à titre forfaitaire l'exécution de ces prestations de contrôle. De plus, la réalisation d'analyses complémentaires de données devra permettre de s'assurer de l'absence d'impact lors, par exemple, de changement de vitrages via la réalisation de prestations à bons de commande.

### **1.1 – Consistance des prestations de maintenance en garantie totale du système de contrôle**

La consistance de ces prestations est détaillée à l'article 2 du présent CCTP :

- la maintenance corrective en tant que de besoin du système de contrôle des ouvrages,
- l'établissement de ses éventuels dysfonctionnements,
- les réparations ou remplacements des éléments en cause,

### **1.2 – Consistance des prestations de contrôle**

Les prestations de contrôle sont de 3 types :

- l'exploitation du système de contrôle,
- des relevés lasergrammétriques accompagnés d'un nivellement topométrique,
- des inspections visuelles pour la part à bon de commande. Ces inspections permettront de relever l'état des vitrages ou de la visserie de la structure.

La consistance de ces prestations est détaillée aux articles 2.1, 2.3 et 3 du présent CCTP.

### **1.3 – Périmètre des ouvrages**

Les ouvrages auxquels s'appliquent les prestations consistent en :

- la structure de la grande pyramide et son système de contrôle,
- la paroi vitrée de la grande pyramide,

Ces ouvrages sont décrits dans la Description de la Pyramide cour Napoléon en annexe 1.1 au présent CCTP.

## **ARTICLE 2 – PART FORFAITAIRE**

### **2.1 – Exploitation du système de contrôle**

Le titulaire doit exécuter cette prestation à titre forfaitaire.

Cette prestation s'applique à l'ensemble des mesures effectuées par le système de contrôle des ouvrages à raison de 1 mesure par capteur et par quart d'heure.

Cette prestation se décompose en 3 phases :

- récupération et archivage hebdomadaire des mesures,
- validation et conversion mensuelle des mesures,
- interprétation annuelle des mesures,

qui sont détaillées dans les articles 2.2.1 à 2.2.3 suivants.

Pour l'exécution de cette prestation, le Musée du Louvre met à disposition du titulaire les logiciels informatiques répertoriés à l'article 2.2 de l'annexe 1.1 du C.C.T.P.

Le titulaire doit prévoir l'abonnement téléphonique mobile nécessaire aux communications avec la centrale d'acquisition, ainsi que le matériel informatique suivant, ou son équivalent :

- Micro-ordinateur de type PC pentium4 2Ghz ou supérieur et accessoires
- Système d'exploitation supportant l'émulation DOS 6.1
- Antivirus mis à jour en ligne et réseau d'entreprise sécurisé
- Système de sauvegarde des répertoires de travail en continu dans un bâtiment séparé

#### ***2.1.1 - Récupération et archivage hebdomadaire des mesures***

Cette première phase consiste à récupérer, par interrogation à distance de la centrale d'acquisition, les mesures brutes effectuées les 7 à 8 jours précédents et à constituer le fichier correspondant.

Ce fichier est enregistré dans le système de sauvegarde des données du titulaire.

Cette prestation est à exécuter le lundi ou le mardi de chaque semaine, la mise à disposition en téléchargement à la personne chargée de la conduite du marché devant avoir lieu le 2ème lundi du mois au plus tard.

#### ***2.1.2 - Validation et conversion mensuelle des mesures***

Cette deuxième phase consiste, à l'aide du logiciel de traitement des parasites et de transformation en unité physique des mesures, à visualiser sur écran les mesures enregistrées précédemment effectuées pour chacun des capteurs afin d'en vérifier la validité puis à convertir les mesures avant de constituer un second fichier.

En cas d'anomalie, le logiciel permet de supprimer l'ensemble des mesures correspondant à la période en cause sans pour autant entraîner d'incohérence au niveau des traitements prévus ultérieurement.

Ensuite, le logiciel permet de convertir les mesures afin de leur conférer une forme directement interprétable, correspondant au phénomène physique mesuré, et permet de rattacher les mesures à un second type de fichier compilant les mesures mois par mois depuis l'origine du fonctionnement du système de contrôle des ouvrages.

Ce fichier est enregistré dans le système de sauvegarde des données du titulaire.

Les données mensuelles sont à examiner et interpréter par le titulaire qui doit signaler tous les éventuels problèmes constatés à l'EPML immédiatement.

Il est mis à disposition, à la demande de la personne chargée de la conduite du marché, en téléchargement au début de chaque mois pour les 4 ou 5 semaines précédentes à la personne chargée de la conduite du marché.

Cette prestation est à exécuter dans la semaine suivant la première phase, la mise à disposition en téléchargement à la personne chargée de la conduite du marché devant avoir lieu le 4ème lundi du mois au plus tard.

### **2.1.3 - Présentation et analyse annuelle des mesures**

Cette troisième phase consiste, à l'aide du logiciel d'analyse et de présentation, à fournir :

- les courbes, capteur par capteur, des mesures correspondant aux 12 derniers mois,
- les histogrammes des écarts journaliers et de leur répartition temporelle, capteur par capteur, sur la période des 12 derniers mois,
- les traitements comparatifs de 12 groupes de 2 à 6 capteurs, sur la base des mesures effectuées à une heure fixe donnée sur la période des 24 derniers mois,
- les courbes des mesures de chacun des capteurs, sur la base des mesures effectuées à une heure fixe donnée sur la période des 12 derniers mois.

Puis :

- l'évaluation des évolutions des mesures à une heure fixe donnée de chaque capteur sur la période des 24 derniers mois,
- l'évaluation des évolutions comparées des mesures à heure fixe donnée de 12 groupes de 2 à 6 capteurs sur la période des 24 derniers mois, en comparant la variation à long terme des mesures, estimée à partir de la droite des moindres carrés, à l'écart maximum mesuré sur une même journée.
- La comparaison des histogrammes entre la période des 12 derniers mois et la période des 12 mois précédents, en mettant en évidence les classes majoritaires de ces 2 périodes ainsi que leur importance relative.

Cette prestation se conclut par la fourniture d'un rapport intégrant les éléments énoncés ci-dessus précisant les évolutions anormales éventuellement constatées et leur interprétation. Le fichier correspondant est à mettre à disposition en

téléchargement à la personne chargée de la conduite du marché chaque année dans un délai de 2 mois suivant l'échéance de chaque période de 12 mois de mesures.

## **2.2 Maintenance en garantie totale du système de contrôle**

Le titulaire doit exécuter cette prestation à titre forfaitaire.

Le titulaire doit prendre à sa charge la totalité des frais de mise à niveau puis de maintenance de l'ensemble du système de contrôle des ouvrages, dispositif existant.

Ainsi, le titulaire doit :

- la maintenance corrective en tant que de besoin du système de contrôle des ouvrages,
- l'établissement de ses éventuels dysfonctionnements,
- les réparations ou remplacements des éléments en cause,

Nota : une inspection trentenaire de l'ouvrage a été menée dans le cadre du précédent marché en 2019. Pour donner suite à cette inspection, l'instrumentation a été mise à jour en décembre 2020 : la centrale d'acquisition et les appareils de mesures ont été changés.

*Extrait du rapport d'installation R20PA267i0-Rapport de maintenance du janvier 2021*

*Les inclinomètres seront remplacés par des capteurs de la même série : Sensorex SX41200 690041176.*

*Les extensomètres initialement installés ne sont plus distribués, ils seront remplacés par des modèles plus récents du même constructeur Telemac sm5b. [...]*

*Les fiches techniques de ces capteurs sont en annexe de ce rapport.*

### **2.2.1 - Maintenance corrective – Diagnostic**

Dans un délai de 2 semaines, le titulaire doit exécuter ces opérations à l'issue de chaque validation et conversion mensuelles des mesures si elles ont révélé des anomalies pouvant correspondre à des dysfonctionnements du système de contrôle plutôt qu'à des pathologies de l'ouvrage. La visite ne pourra avoir lieu que le mardi, jour de fermeture au public du musée du Louvre.

Les opérations de diagnostic sont susceptibles de porter sur :

#### **a) Capteurs - réseau**

Pour chacun des capteurs

- analyse du signal de mesure émis suite à une simulation de leur fonctionnement indépendante de la centrale d'acquisition,
- en cas de dysfonctionnement, répétition de l'opération mais au niveau du capteur lui-même, afin de déterminer si l'origine du dysfonctionnement se situe dans le capteur ou dans ses connexions et son câblage vers la centrale d'acquisition,
- vérification des caractéristiques électriques des capteurs (impédance d'entrée).

## **b) Centrale d'acquisition**

Pour la centrale :

- vérification ohmique de la connectique de chaque voie de mesure au niveau des relais de connexions,
- vérification des calibrages ou étalonnages des modules d'acquisition spécifiques à chaque type de capteur installé, par simulation de leur fonctionnement indépendante des capteurs.

### **2.2.2 – Maintenance corrective – Établissement des éventuels dysfonctionnements**

Suite à l'opération de correction, le titulaire doit fournir à la personne chargée de la conduite du marché, dans un délai d'une semaine, un rapport répertoriant les dysfonctionnements constatés en indiquant dans chaque cas les composants du système en cause, ainsi que les valeurs des mesures ayant fait apparaître son dysfonctionnement, comparées aux valeurs normales attendues.

### **2.2.3 - Maintenance corrective – Réparation ou remplacement des éléments en cause**

Le titulaire doit assurer la réparation ou le remplacement des composants en cause dans un délai de 4 semaines suivant la remise de son rapport.

A ce titre il lui revient de constituer si nécessaire un stock de composants de remplacement qui restera propriété du titulaire.

#### **a) Moyens humains particuliers**

Il convient de préciser que le titulaire peut avoir la nécessité de faire réparer ou remplacer les capteurs implantés dans la structure par un spécialiste des travaux en situation d'accès difficile, dit « cordiste ».

Cet intervenant en hauteur est alors impérativement titulaire du Certificat de Qualification Professionnelle de Cordiste de niveau 1.

#### **b) Moyens matériels particuliers**

- par exemple, nacelle électrique élévatrice ou échafaudage si les réparations ou remplacement des capteurs ne sont pas exécutés par un spécialiste des travaux en situation d'accès difficile, dit « cordiste ».
- Matériel individuel d'assurage en situation d'accès difficile si les réparations ou remplacement de capteurs doivent être exécutés par un spécialiste des travaux en situation d'accès difficile, dit « cordiste ».

#### **c) Annexe au plan de prévention**

En cas d'intervention de spécialistes des travaux en situation d'accès difficile, dits « cordistes », l'annexe au plan de prévention afférente à cette prestation spécifique est établie par le titulaire conformément au décret 2004.924 du 01.09.04 et jointe à son offre.

## **2.3 – RELEVES TOPOMETRIQUES ET LASERGRAMMETRIQUES**

Le titulaire doit exécuter ces prestations à titre forfaitaire.

- nivellement de la rive de la grande pyramide,
- relevé lasergrammétrique de la structure depuis l'intérieur de la grande pyramide,
- relevé lasergrammétrique de la paroi vitrée depuis l'extérieur de la grande pyramide

Ces prestations partagent un objectif de précision millimétrique et doivent donc être exécutées avec rigueur et à l'aide de matériel performant, dans un créneau horaire et saisonnier compatible, en demi-saison et après minuit.

La personne chargée de la conduite du marché peut décider le report de l'exécution des prestations jusqu'à 3 jours avant leur exécution, si les conditions météorologiques prévues lui semblent mettre en cause leur intérêt.

Nota : ces prestations pourront être effectuées en plus de la part forfaitaire au cours du marché si cela s'avérait nécessaire.

### **2.3.1 - Nivellement de la rive de la grande pyramide**

Cette prestation permet de caler le relevé de la pyramide de manière absolue.

#### **a) Modalités d'exécution**

Cette prestation est à exécuter chaque année.

Le délai d'intervention entre planification et exécution de la prestation est de 2 semaines, sa date d'exécution étant à convenir en fonction des contraintes de l'activité du musée du Louvre.

Les conditions météorologiques limites (mesurées, ou prévues moins de 3 jours à l'avance, par la météorologie nationale) autorisant une modification des délais sont :

- pluie intense ou neige
- température extérieure en deçà de 15°C ou au-delà de 30°C

#### **b) Consistance et conditions d'exécution**

L'opération de nivellement s'applique aux points suivants :

- 2 repères NGF implantés en façade Ouest des pavillons marquant la limite de la cour Napoléon à l'Ouest, à une centaine de mètres de la grande pyramide. Ces points sont à rattacher par double cheminement aux 7 points suivants,
- 7 points constituant un canevas altimétrique réputé fixe, implantés devant l'ensemble d'entrée et sur le belvédère de la grande pyramide et matérialisés par des pointes métalliques. Ces points sont à déterminer chacun à partir d'un minimum de 3 stations réparties sur le belvédère,
- 29 points répartis sur la base de la grande pyramide, implantés sur les barres horizontales de la structure, à raison de 4 de part et d'autre de l'ensemble

d'entrée en face Ouest et de 7 pour chacun des 3 autres faces, à matérialiser à l'aide d'une mire spécifique.

Cette mire est positionnée selon le cas à gauche ou à droite des appuis de la structure, à environ 30 cm de manière à éviter la bague d'habillage du joint barre-nœud. Les points sont à déterminer au moins 2 fois en effectuant un aller-retour le long de la rive de la grande pyramide. De plus les 8 points implantés en rive de la face Ouest et les 4 points implantés à l'Ouest des rives des faces Nord et Sud sont à déterminer chacun à partir de 2 stations.

Après exécution du relevé, le titulaire doit fournir un rapport comportant les résultats bruts ainsi que les résultats intermédiaires et finaux de ses calculs, accompagnés d'une note précisant le calendrier et les horaires d'exécution du relevé, les températures mesurées toutes les heures en 2 points proches de la rive et les méthodes et matériels utilisés.

Les résultats finaux des calculs sont :

- un tableau comparatif des altitudes de chacun des points du canevas, établis suivant un calcul de compensation en bloc par la méthode des moindres carrés, et des altitudes de chacun des 28 autres points, montrant les différences constatées avec celles de l'opération précédente et de l'opération "zéro",
- 2 représentations graphiques en élévation des altitudes des 26 points de la rive de la grande pyramide, montrant les différences constatées avec celles des opérations précédentes en remontant jusqu'à l'opération "zéro", ainsi que les différences constatées avec celles de l'opération précédente et de l'opération "zéro",
- l'erreur moyenne quadratique sur les altitudes des points du canevas réputé fixe,
- une synthèse des alertes éventuelles.

Le titulaire doit exécuter cette prestation dans les délais suivants :

- Exécution du relevé : le jour de fermeture du Musée du Louvre, c'est-à-dire un mardi, entre 6h00 et 12h00.
- Remise du rapport : 1 mois après l'exécution du relevé.

### **c) Moyens humains particuliers**

Il convient de préciser que le titulaire peut avoir la nécessité de faire positionner la mire sur la structure par un spécialiste des travaux en situation d'accès difficile, dit « cordiste ».

Cet intervenant en hauteur est alors impérativement titulaire du Certificat de Qualification Professionnelle de Cordiste de niveau 1.

### **d) Moyens matériels particuliers**

Cette liste correspond au matériel de base mais n'est pas exhaustive. Le recours à du matériel aux caractéristiques équivalentes mais différent de celui référencé ci-après est autorisé sous réserve de l'agrément de la personne chargée de la conduite du marché. Il s'agit par exemple de :

- Niveau de précision type Wild N3, Leica NA2 + micromètre, ou numérique : de type Trimble Dini 0.3mm ou Leica LS10 ou LS15 ou équivalent
- Mini-trépied permettant de positionner le niveau à environ 40 cm du sol.
- Mire en alliage d'invar.
- Mire spécifique composée d'une réglette en plastique montée sur un support en V à 90° inversé, équipé d'un niveau à bulle, à étalonner par rapport à l'axe des barres de 75 mm de diamètre sur lesquelles elle sera posée.
- Nacelle électrique élévatrice ou échafaudage pour accès à la rive de la pyramide depuis l'accueil Napoléon si la mire n'est pas mise en place par un spécialiste des travaux en situation d'accès difficile, dit « cordiste ».
- Matériel individuel d'assurance en situation d'accès difficile si la mire est mise en place par un spécialiste des travaux en situation d'accès difficile, dit « cordiste ».

#### **e) Annexe au plan de prévention**

En cas d'intervention de spécialistes des travaux en situation d'accès difficile, dits « cordistes », l'annexe au plan de prévention afférente à cette prestation spécifique est établie par le titulaire conformément au décret 2004.924 du 01.09.04 et jointe à son offre.

### ***2.3.2 -Relevé lasergrammétrique de la structure depuis l'intérieur de la grande pyramide***

#### **a) Modalités d'exécution**

Cette prestation est à exécuter chaque année.

Le délai d'intervention entre planification et exécution de la prestation est de 2 semaines, sa date d'exécution étant à convenir en fonction des contraintes de l'activité du musée du Louvre.

Les relevés lasergrammétriques restent impérativement complétés d'un relevé topométrique (point 4.1) permettant de leur rattachement par nivellement direct avec les points de références situés à l'extérieur, ainsi qu'un recalage en XY.

Les conditions météorologiques limites (mesurées, ou prévues moins de 3 jours à l'avance, par la météorologie nationale) autorisant une modification des délais sont :

- pluie intense ou neige
- température extérieure en deçà de 15°C ou au-delà de 30°C
- vent d'une vitesse supérieure à 30 km/h.

#### **b) Consistance et conditions d'exécution**

L'opération de relevé lasergrammétrique de la structure doit être comparable aux relevés topométriques réalisés antérieurement, donc couvrir plus particulièrement les points suivants :

- 2 repères NGF implantés en façade Ouest des pavillons marquant la limite de la cour Napoléon à l'Ouest, à une centaine de mètres de la grande pyramide. Ces points sont à rattacher par double cheminement aux 7 points suivants,
- 7 points constituant un canevas altimétrique réputé fixe, implantés devant l'ensemble d'entrée et sur le belvédère de la grande pyramide et matérialisés par des pointes métalliques. Ces points sont à déterminer chacun à partir d'un minimum de 3 stations réparties sur le belvédère,
- 29 points répartis sur la base de la grande pyramide, implantés sur les barres horizontales de la structure, à raison de 4 de part et d'autre de l'ensemble d'entrée en face Ouest et de 6 pour chacun des 3 autres faces, à matérialiser à l'aide d'une mire spécifique.
- 32 points implantés dans la structure de la grande pyramide et matérialisés par des cibles collées (les prismes et cibles rétro réfléchissantes sont proscrits). Ces points sont déterminés par des observations angulaires horizontales et verticales à partir de chacune des 3 stations, chaque fois qu'ils en sont visibles. Cette opération est effectuée en 2 paires de séquences.

Après exécution du relevé, le titulaire doit fournir un rapport comportant les résultats bruts ainsi que les résultats intermédiaires et finaux de ses calculs accompagnés d'une note précisant le calendrier et les horaires d'exécution du relevé, les températures mesurées toutes les heures en 4 points répartis dans la structure et les méthodes et matériels utilisés.

Les résultats finaux des calculs sont :

- 2 représentations graphiques en élévation des altitudes de la rive de la grande pyramide, montrant les différences constatées avec celles des opérations précédentes en remontant jusqu'aux 2 opérations "zéro" (relevé topométrique et relevé lasergrammétrique), ainsi que les différences constatées avec celles de l'opération précédente et des 2 opérations "zéro" (relevé topométrique et relevé lasergrammétrique),
- 1 représentation graphique en coupes et en élévations des positions des principales génératrices de la structure de la grande pyramide, rives, arêtières et médianes, montrant les différences constatées avec celles de l'opération précédente et des 2 opérations "zéro" (relevé topométrique et relevé lasergrammétrique),
- une synthèse des alertes éventuelles.

Le titulaire doit exécuter cette prestation dans les délais suivants

- Exécution du relevé :
  - o Nuit de lundi à mardi entre 24 h 00 et 6 h 00 pour le relevé lasergrammétrique.
  - o Le jour de fermeture du Musée du Louvre, c'est-à-dire un mardi, entre 6h00 et 12h00 pour le relevé topométrique permettant leur rattachement par nivellement direct avec les points de références situés à l'extérieur, ainsi qu'un recalage en XY.
- Remise du rapport : 1 mois après l'exécution du relevé.

### **c) Moyens matériels**

Cette liste correspond au matériel de base mais n'est pas exhaustive. Le recours à du matériel aux caractéristiques équivalentes mais différent de celui indiqué ci-après est autorisé sous réserve de l'agrément de la personne chargée de conduite du marché. Il s'agit par exemple de :

- Scanner à mesure de temps de vol ou de phase type Z+F 5010, 5016, Leica P50, Leica RTC360 ou équivalent :
  - incertitude de mesure en distance inférieure à 1,5mm à 20m
  - bruit de mesure inférieur à 1mm à 20m
  - résolution angulaire inférieure ou égal à 0,02°
  - portée supérieure à 70m sur tout type de surface

### **2.3.3 -Relevé lasergrammétrique de la paroi vitrée depuis l'extérieur de la grande pyramide**

#### **a) Modalités d'exécution**

Cette prestation est à exécuter chaque année.

Le délai d'intervention entre planification et exécution de la prestation est de 2 semaines, sa date d'exécution étant à convenir en fonction des contraintes de l'activité du musée du Louvre.

Les conditions météorologiques limites (mesurées, ou prévues moins de 3 jours à l'avance, par la météorologie nationale) autorisant une modification des délais sont :

- pluie intense ou neige
- température extérieure en deçà de 15°C ou au-delà de 30°C
- vent d'une vitesse supérieure à 30 km/h.

#### **b) Consistance et conditions d'exécution**

Après exécution du relevé, le titulaire doit fournir un rapport comportant les résultats bruts ainsi que les résultats intermédiaires et finaux de ses calculs accompagnés d'une note précisant le calendrier et les horaires d'exécution du relevé, les températures mesurées toutes les heures en 4 points répartis dans la structure et les méthodes et matériels utilisés.

Les résultats finaux des calculs sont :

- une représentation graphique en coupes et en élévations des positions des principales génératrices de la paroi vitrée de la grande pyramide, rives, arêtières et médianes, maillage des losanges et des triangles, montrant les différences constatées avec celles de l'opération précédente et des 2 opérations "zéro" (relevé photogrammétrique exceptionnel de 1990 et relevé lasergrammétrique),

- une synthèse des alertes éventuelles.

Le titulaire doit exécuter cette prestation dans les délais suivants

- Exécution du relevé : nuit de lundi à mardi entre 24 h 00 et 6 h 00.
- Remise du rapport : 1 mois après l'exécution du relevé.

### **c) Moyens matériels**

Cette liste correspond au matériel de base mais n'est pas exhaustive. Le recours à du matériel aux caractéristiques équivalentes mais différent de celui indiqué ci-après est autorisé sous réserve de l'agrément de la personne chargée de conduite du marché. Il s'agit par exemple de :

- Scanner à mesure de temps de vol ou de phase type Z+F 5010, 5016, Leica P50, Riegl VZ-400 ou équivalent :
  - incertitude de mesure en distance inférieure à 2mm à 20m
  - bruit de mesure inférieur à 2mm à 20m
  - résolution angulaire inférieure ou égal à 0,015°
  - portée supérieure à 70m sur tout type de surface

## **ARTICLE 3 – PART A BONS DE COMMANDE**

Le titulaire doit exécuter ces prestations à bons de commande.

Elles pourront être commandées à plusieurs reprises dans le cadre du marché, avant/après une campagne de travaux de remise en état par exemple.

On distingue 2 prestations :

- Inspection visuelle extérieure de la paroi vitrée de la grande pyramide,
- Inspection visuelle intérieure de la structure et de la paroi vitrée de la grande pyramide.

Ces prestations visent à l'établissement d'un bilan exhaustif de l'ensemble des pathologies affectant l'ouvrage, indépendamment de toute alerte quant à l'évolution de sa structure.

En effet, si jusqu'à présent le comportement général de la structure de la grande pyramide reste simplement corrélé au tassement et au fléchissement, dans des limites tolérables, de l'infrastructure sur laquelle elle a été édifée d'une part, aux incidences des variations quotidiennes et saisonnières de température d'autre part, plusieurs micro-pathologies ont été détectées ponctuellement.

En outre, certains relevés antérieurs de certaines de ces micro-pathologies n'ont pu jusqu'à présent être suivis de travaux de remise en état et doivent être mis à jour.

*Nota : Des inspections visuelles ont été menées lors du précédent marché dans le cadre de l'inspection trentenaire de l'ouvrage.*

*Nota : une inspection visuelle pourrait permettre de relever les vitrages abimés (casse, fêle,...) en vue d'un remplacement*

### **3.1 - Inspection visuelle extérieure de la paroi vitrée de la grande pyramide**

#### **a) Modalités d'exécution**

Le délai d'intervention entre commande et exécution de la prestation est de 2 mois, sa date d'exécution étant à convenir en fonction des contraintes de l'activité du musée du Louvre.

Les conditions météorologiques limites (mesurées ou prévues moins de 48 heures à l'avance, par la météorologie nationale) autorisant une modification des délais, sont :

- vent d'une vitesse supérieure à 20 km/h,
- température inférieure à 10°C,
- climat orageux,
- pluie intense ou neige.

En cas de prolongement de délai, l'opération doit être reportée au prochain jour de fermeture du Musée du Louvre, c'est-à-dire un mardi avant 18h00.

## **b) Consistance et conditions d'exécution**

L'opération consiste en un examen visuel, à l'aide d'un relevé photographique, exécuté par un drone et/ou depuis un camion nacelle, de tous les détails de la paroi vitrée de la grande pyramide :

- joints de collage et d'étanchéité,
- arêtes et surface des vitrages,
- capotages en aluminium laqué, couvre-joints, goulottes, arêtières ou gouttières.

Les anomalies constatées (décollement, déchirures, épaufrures, rayures etc...) sont relevées et classées par catégorie.

Toutes les procédures d'autorisation de vol de drone sont à la charge du titulaire. Le musée du Louvre organise pour sa part l'interruption le temps nécessaire des entrées et sorties par la pyramide.

Après exécution du relevé, le titulaire doit fournir un rapport comportant le report des anomalies constatées sur des élévations des faces de la grande pyramide et un tableau répertoriant les anomalies constatées par face et par catégorie, accompagnée d'une note précisant le calendrier et les horaires d'exécution du relevé et les principales anomalies constatées.

Le titulaire effectue aussi la comparaison de son relevé avec les relevés antérieurs récents, réalisés jusqu'en 2018 par des spécialistes des travaux en situation d'accès difficile, dits « cordistes », sans reportage photographique systématique, ou avec ceux qu'il a précédemment réalisés si la prestation lui est commandée à plusieurs reprises.

Les élévations des faces de la grande pyramide sont établies à l'échelle, à partir de photos panoramiques d'une résolution de 2 à 3 mm/pixel.

Le repérage sur ces élévations de chaque pathologie comporte un lien vers une photo détaillée, prise perpendiculairement à la paroi vitrée d'une résolution de 1 à 2 mm/pixel.

Le titulaire doit exécuter cette prestation dans les délais suivants :

- Elévations des faces de la grande pyramide, à partir de photos panoramiques :
  - o Le jour de fermeture du Musée du Louvre, c'est-à-dire un mardi, en été, en l'absence d'événementiel, entre 7 h 00 et 21 h 00.
- Exécution du relevé : Le jour de fermeture du Musée du Louvre, c'est-à-dire un mardi, en été, en l'absence d'événementiel, entre 7 h 00 et 21 h 00.
- Remise du rapport : 2 mois après l'exécution du relevé.

## **c) Moyens humains**

Cette liste correspond aux effectifs de base mais n'est pas exhaustive.

- 2 intervenants au minimum, dont un représentant du titulaire.

#### **d) Moyens matériels**

Cette liste correspond au matériel de base mais n'est pas exhaustive. Le recours à du matériel aux caractéristiques équivalentes mais différent de celui référencé ci-après est autorisé sous réserve de l'agrément de la personne chargée de la conduite du marché. Il s'agit par exemple de :

- Appareil photo numérique,
- Drone et/ou camion nacelle,
- Platelage de protection des dalles perforées des caniveaux de la cour Napoléon pour le camion nacelle éventuel.
- Barriérage mobile pour compléter le périmètre de la pyramide et ses bassins (pour mémoire).

### **3.2 - Inspection visuelle intérieure de la structure et de la paroi vitrée de la grande pyramide**

#### **a) Modalités d'exécution**

Le délai d'intervention entre commande et exécution de la prestation est d'un mois, sa date d'exécution étant à convenir en fonction des contraintes de l'activité du musée du Louvre.

#### **b) Consistance et conditions d'exécution**

L'opération consiste en un examen visuel de tous les détails de la structure, exécuté par des spécialistes des travaux en situation d'accès difficile et/ou depuis une nacelle élévatrice électrique de type araignée, charpente métallique tridimensionnelle complexe, et de la sous-face de la paroi vitrée de la grande pyramide :

- nœuds entre barres du maillage des losanges et des triangles et tirants des cordes d'arc au niveau des rives
- nœuds entre barres du maillage des losanges et des triangles au niveau des arêtiers
- nœuds entre poinçons et barres du maillage des losanges et des triangles
- nœuds entre poinçons et tirants des cordes d'arc
- nœuds entre poinçons et contre-câbles
- fixations de la paroi vitrée sur le maillage des losanges et des triangles

Les anomalies constatées sur les différents éléments d'assemblage (axes, bagues, boulonnerie, joints coulissants, rondelles, soudures, visserie, etc...) sont relevées et classées par catégorie.

Dans le cas particulier de la visserie des fixations de la paroi vitrée sur le maillage des losanges et des triangles, le titulaire doit vérifier le serrage effectif de la visserie avec une clé dynamométrique et le compléter s'il s'avère insuffisant.

Le volume de la structure et l'impératif d'une inspection rapprochée au toucher de tous ses éléments imposent l'intervention des spécialistes des travaux en situation d'accès difficile, dits « cordiste », pour au moins la moitié de la prestation.

Le titulaire effectue aussi la comparaison de son relevé avec les relevés antérieurs qu'il a précédemment réalisés si la prestation lui est commandée à plusieurs reprises.

Après exécution du relevé, le titulaire doit fournir un rapport comportant :

- le report des anomalies constatées sur des élévations des faces de la grande pyramide établies à partir d'un modèle filaire en 3D de la structure, constitué par le titulaire au format de BIM .ifc, à partir des plans et élévations filaires communiqués par la personne chargée de la conduite du marché, en en reprenant la nomenclature,
- un tableau répertoriant les anomalies constatées par face et par catégorie,

accompagnés d'une note précisant le calendrier et les horaires d'exécution du relevé et les principales alertes et/ou anomalies constatées.

Le titulaire doit exécuter cette prestation dans les délais suivants :

- Modèle filaire en 3D de la structure : dès la notification du marché, dans un délai maximum de 2 mois.
- Exécution du relevé : la nuit de 22h00 à 8h00, de mercredi à lundi, à l'exclusion des nuits de mardi à mercredi, les interventions pendant les nuits de fin de semaine étant facultatives, dans un délai maximum de 2 mois.
- Remise du rapport : 2 mois après l'exécution du relevé.

### **c) Moyens humains**

Cette liste correspond aux effectifs de base mais n'est pas exhaustive.

- 3 intervenants au minimum, dont un représentant du titulaire.
- Les intervenants en hauteur et leurs assistants au sol spécialistes des travaux en situation d'accès difficile, dits « cordistes », sont impérativement titulaires du Certificat de Qualification Professionnelle de Cordiste de niveau 1.

### **d) Moyens matériels**

Cette liste correspond au matériel de base mais n'est pas exhaustive. Le recours à du matériel aux caractéristiques équivalentes mais différent de celui référencé ci-après est autorisé sous réserve de l'agrément de la personne chargée de la conduite du marché. Il s'agit par exemple de :

- Appareil photo numérique
- Nacelle araignée et/ou :
- Matériel d'accès en situation d'accès difficile :
  - cordes statiques de 50 mètres en fibres de nylon et de diamètre 10,5 mm (PETZL - Sécurité type R 77 200),
  - baudriers cuissards (PETZL type MUTANT C19, JUMP C20, ADRENALINE C22, CHOUCAS C23 ou VERCORS C24),

- mousquetons à vis (SIMOND type ZICRAL 3000),
  - descendeurs (PETZEL type STOP),
  - poignées d'ascension (PETZEL type EXPEDITION B07 ou BASIC B08),
  - paires de bottes ou de chaussures légères à semelles en caoutchouc blanc,
  - paires de genouillères.
- Barriérage mobile environ 40 ml – pour mémoire.

**e) Annexe au plan de prévention**

En cas d'intervention de spécialistes des travaux en situation d'accès difficile, dits « cordistes », l'annexe au plan de prévention afférente à cette prestation spécifique est établie par le titulaire conformément au décret 2004.924 du 01.09.04 et jointe à son offre.

## **ARTICLE 4 – AUTRES PRESTATIONS**

Compte tenu du résultat de l'exécution des prestations, notamment en cas d'alerte, mais aussi en cas d'incident sur l'ouvrage, la personne chargée de la conduite du marché peut, à sa seule initiative, commander au titulaire des prestations supplémentaires :

- soit la répétition de certaines des prestations dues à titre forfaitaire, chiffrées à coût marginal dans le Bordereau des Prix Unitaires (BPU),
- soit des prestations nouvelles faisant l'objet d'un devis sur la base des prix de fourniture et main d'œuvre du BPU.

### **4.1 Vacation de personnel**

- 4.1.1 technicien
- 4.1.2 Ingénieur
- 4.1.3 spécialistes des travaux en situation d'accès difficile

Les prix seront précisés à la demi-journée, à la journée ou à la nuit.

### **4.2 Matériel supplémentaire**

- 4.2.1 Inclinomètre
- 4.2.1 Extensomètre
- 4.2.1 Autre matériel non compris dans les prestations

### **4.3 Rapport d'analyse supplémentaire**

#### ***4.3.1 Rapport d'analyse à la demande de la MOA***

#### ***4.3.2 Rapports dans le cadre d'un changement de vitrages***

Une intervention par substitution (vitrages de même masse) et relativement « rapide » c'est-à-dire pose et dépose dans la même journée ne devrait pas avoir d'impact sur la structure de la pyramide car les modifications de la structure sont principalement dues aux variations thermiques. Cependant, dans le cadre d'un plus grand nombre changement de vitrages, une étude spécifique pourra être demandée d'autant que les capteurs actuels ne sont pas équirépartis.

Le protocole envisagé pour évaluer s'il y a un impact sur la structure est la réalisation de trois rapports d'analyse successifs à la fréquence suivante : rapport au bout d'une semaine, puis à un mois puis à trois mois. Si un impact est mis en évidence, a minima une analyse supplémentaire des données sera nécessaire et le protocole de changement de vitrages devra être adapté.

**Annexes au CCTP :**

- **Annexe n°1.1 :** DESCRIPTION DES PYRAMIDES DE LA COUR NAPOLEON  
(DPN)
- **Annexe n°1.2 :** RECOMMANDATIONS DU CONSTRUCTEUR(REC)
- **Annexe n°1.3 :** EXTRAIT DU COMPTE RENDU DE MAINTENANCE  
(CRM)
- **Annexe n°1.4 :** EXTRAIT DE RAPPORTS TRIMESTRIELS ET ANNUELS  
(RTA)
- **Annexe n°1.5 :** EXTRAIT DE L'ENQUETE DE TECHNIQUE NOUVELLE  
(ETN)
- **Annexe n°2 :** Procédure Permis feu-poussière
- **Annexe n°3 :** Rapport de maintenance