

PARIS – ARC DE TRIOMPHE

NUMÉRISATION 3D

---

MÉMOIRE TECHNIQUE

ART GRAPHIQUE ET PATRIMOINE





## Sommaire

<b>1.</b>	<b>Intervention sur site</b> .....	<b>2</b>
1.1.	Calendrier .....	2
1.2.	Capture lasergrammétrique .....	2
1.3.	Capture photogrammétrique terrestre .....	2
1.4.	Capture photogrammétrique aérienne .....	3
1.5.	Géoréférencement par GNSS.....	3
<b>2.</b>	<b>Assemblage des données lasergrammétriques</b> .....	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>Traitement des clichés photogrammétriques</b> .....	<b>4</b>
<b>4.</b>	<b>Traitement des données photogrammétriques</b> .....	<b>4</b>
4.1.	Assemblage des clichés.....	4
4.2.	Génération des maillages .....	5
<b>5.</b>	<b>Numérisation du bouclier et du plan relief</b> .....	<b>6</b>
<b>6.</b>	<b>Génération des modèles STL</b> .....	<b>6</b>



## 1. Intervention sur site

### 1.1. Calendrier

Nous sommes intervenus dans le cadre de la numérisation de l'arc de triomphe aux dates suivantes :

Jour	Météo	Horaires	Zone	Travaux effectués
21 mai 2024	Variable a majorité nuageuse avec pluie et soleil	6h00-12h00	Extérieurs sol	Relevés lasergrammétiques Relevés photogrammétrie terrestres
22 mai 2024	Variable a majorité nuageuse avec pluie et soleil	6h00-12h00	Toiture	Relevés lasergrammétiques Relevés photogrammétrie terrestres
			Extérieurs sol	Relevés photogrammétrie terrestres
23 mai 2024	Variable a majorité nuageuse avec pluie et soleil	6h00-12h00	Toiture	Relevés lasergrammétiques
			Corniche	Relevés lasergrammétiques
3 juin 2024	Ensoleillée avec quelques nuages	5h00-12h00	Extérieurs	Relevés photogrammétiques par drone
				Rattachement GPS
13 juin 2024	SO	10h00-12h00	Plan relief et bouclier	Relevés lasergrammétiques inframillimétriques

### 1.2. Capture lasergrammétrique

La capture lasergrammétrique à été faite avec des scanner de la gamme Leica RTC360 sur les zones du parvis, de la toitures et de la corniche, ainsi que l'escalier de jonction entre toiture et corniche

Un total de 167 positons de scanner ont été réalisées

Les positions de scanning ont été nommé selon la nomenclature suivante :

[Zone]\_[incrémentation] avec :

[Zone] correspondant à la zone d'acquisition

[Incrémentation] à un numéro de position qui s'incrémente automatiquement

### 1.3. Capture photogrammétrique terrestre

Nous avons utilisé un appareil hybride Sony A7R IV couplés a des objectifs Sony FE 24-70 mm GM et Sony FE 12-24 G.

Un total de 2830 clichés ont été capturés sur les zones extérieures depuis le sol et la toiture.



Les fichiers ont été nommé selon la nomenclature suivante :

[Zone]\_[focale]\_[incrémentation] Avec :

[Zone] correspondant à la zone ou au sujet couvert par le jeu de photo

[Focale] correspond à la focale issue des exif de la photo sous la forme Fxx (F pour focale, et xx la focale en millimètre)

[Incrémentation] à un numéro de position qui s'incrémente automatiquement

#### 1.4. Capture photogrammétrique aérienne

Nous avons utilisé 2 drones DJI Mavic 3 et un DJI Mavic 3M pour la capture photogrammétrique du 3 juin

Un total de 4384 clichés ont été capturés sur cette période

Les fichiers ont été nommé selon la nomenclature suivante :

[Zone]\_[Appareil]\_[incrémentation] Avec :

[Zone] correspondant à la zone ou au sujet couvert par le jeu de photo

[Appareil] correspond au drone utilisé M3-1 et M3-2 les Mavic 3 n°1 et 2 de notre flotte et M3M le Mavic 3 multispectral

[Incrémentation] à un numéro de position qui s'incrémente automatiquement

Des plans de localisation des zones de photos sont joints sur le disque dur 2

#### 1.5. Géoréférencement par GNSS

Les données ont été géoréférencées par 4 points mesurés grâce à une antenne GNSS Spectra SP80 couplée en RTK au réseau Orphéon.

3 points ont été positionnés sur des repères physiques (angles de plaques) et un point a été placé sur une marque existante.

Les 4 points ont été répartis sur le pourtour du parvis.

Les données ont été mesurées dans le système légal RGF93-CC49 – NGF-IGN69

## 2. Assemblage des données lasergrammétriques

Les données brutes lasergrammétriques (disponibles dans le disque données brutes) ont été traitées et assemblés sous le logiciel Leica Cyclone Register 360+



Puis exportées au format e57 (fichier disponibles dans le disque données traitées). Le rapport de calcul est fourni dans le disque données traitées

### 3. Traitement des clichés photogrammétriques

Les images brutes (disponibles aux format ARW (Sony) et DNG (DJI) dans le disque données brutes) ont été traitées et équilibrées sous les logiciels DXO PhotoLab Elite 5 (ou CaptureOne22 pour le Mavic 3M), puis exportées au format JPG.

Les principaux paramètres utilisés sont :

- Traitement de la balance des blancs,
- Vignelage
- Tonalité sélective
- Application de filtres DXO ClearView (optimisation des contrastes) et DXO Smart Lighting (optimisation de la plage dynamique)
- Réduction du bruit
- Netteté de l'optique
- Aberrations chromatiques

Les fichiers .dop utilisé dans les traitements issus de DXO sont joints au images brutes

Compte tenu des grandes variations de luminosité au cours des journées de travail et des différentes journées entre elles (levé du soleil, ombres, nuages...), il a été décidé de réaliser un étalonnage colorimétrique arbitraire sur les images plutôt de qu'utiliser une charte colorimétrique.

### 4. Traitement des données photogrammétriques

#### 4.1. Assemblage des clichés

Nous avons utilisé le logiciel RealityCapture pour procéder à l'assemblage des données photogrammétriques.

Notre processus de calcul se base sur une orientation des clichés associé aux données lasergrammétriques afin d'obtenir directement une aérotriangulation mise à l'échelle et géoréférencée.

Sur les 7214 images mise en calcul, 6789 se sont assemblées soit 94%.

Les rapport d'assemblages présentant les paramètres de distorsions calculés et les tolérances des points SIFT sont joint sur le disque données traitées.



#### 4.2. Génération des maillages

Une fois les données assemblés, nous avons procédé à la génération du maillage dense. Le programme Reality Capture utilise un algorithme de calcul basé sur la génération de cartes de profondeur pour générer les modèles.

Du calcul a résulté un maillage de 1.2 milliard de triangles décomposé en 796 sous parties (découpage automatique) de 5 M de triangles max.

Ce maillage a été texturé par projection des clichés avec les paramètres suivantes :

- Résolution mini : 5 mm/pixel
- Résolution maxi : 2 cm/pixel
- Taille des maps : 16K

Il en a résulté 9 UV map de 16K.

Depuis ce modèle pleine résolution (appelé FULL), nous avons échantillonné 2 maillage plus légers :

- Un modèle à 50 M de polygones
- Un modèle à 15 M de polygones

Les textures ont ensuite été ré calculées sur ces modèles.

Les différents modèles ont été exportés sous plusieurs formats :

Modèle	OBJ	FBX	LAS	ASCII
FULL	Oui		Oui	Oui
50M	Oui	Oui		
15M	Oui	Oui		

Le modèle Full lest trop lourd pour être sorti en FBX

Les modèles 50 et 15M sont trop léger pour avoir un intérêt en nuage de points



## 5. Numérisation du bouclier et du plan relief

Le bouclier et le plan relief ont été numérisés le 13 juin 2023.

Il a été utilisé un scanner FARO Edge ScanArm HD pour le bouclier.

Les résultats durant la numérisation du plan relief étant non satisfaisants avec le faro, nous avons procédé à la numérisation avec le Scanner Creaform SPARK.

Les traitements et exports des deux modèles ont directement été faits au format STL et disponibles dans le dossier impression 3D.

Une légère passe photogrammétrique sur le bouclier a été réalisée en plus, avec une export d'un modèle au format OBJ.

## 6. Génération des modèles STL

Il a été demandé plusieurs exports de modèle STL pour impression 3D.

- L'Arc de Triomphe avec son parvis
- L'Arc de Triomphe sans le parvis
- Le Sacre de Napoléon
- La bataille d'Austerlitz
- Une rosace épanouie
- Une rosace
- L'aigle au sol
- Une tête de méduse
- Le plan relief
- Le plan relief centré sur l'arc
- Le bouclier

Pour cela, nous sommes partis du modèle FULL issu de la photogrammétrie (hormis le plan relief et le bouclier) sur lequel nous avons réalisé des exports localisés.

Chaque modèle a ensuite été analysé et fermé sur le logiciel Geomagic Studio pour vérifier la bonne tenue des modèles pour l'impression 3D :

- Contrôle de la fermeture des modèles
- Contrôle des triangles qui s'intersectent



Sur les deux modèles de l'Arc de triomphe, des nettoyages plus importants ont été réalisés avec la suppression des éléments d'aménagement modernes :

- Guérites
- Sorties d'escaliers et ascenseurs
- Rebouchage des fenêtres et portes
- Suppression des grilles anti-suicides en toitures
- Suppressions des barrières du parvis
- Lissage des grilles et plaques de verre
- Suppression de l'algéco et rebouchage par un miroir d'une pile de l'arc

## 7. Récapitulatif des livrables

### 7.1. Disque 1 : Données brutes

- Données brutes issues du scanner
- Points GPS et plan de localisation – CC49-NGF
- Images brutes format ARW ou DNG
- Fichier DOP associés aux images traités sur DXO

### 7.2. Disque 2 : Données traitées

- Images traitées au format JPG
- Nuages de points lasergrammétriques au format e57 structuré
- Modèles photogrammétriques texturés en 3 résolutions
  - o FULL - formats OBJ, LAS et ASCII
  - o 50M - formats OBJ et FBX
  - o 15M - formats OBJ et FBX
- Modèles pour impressions 3D au format STL