



PROGRAMME NATIONAL DE NUMÉRISATION  
ET DE VALORISATION DES CONTENUS CULTURELS

**GUIDE POUR LA RÉDACTION D'UN CAHIER  
DES CHARGES DE NUMÉRISATION EN 3D**

VERSION N°1 – 2017

---

Dans le cadre des groupes de réflexion pour le Programme National de Numérisation et de Valorisation des contenus culturels (PNV), ce guide a été réalisé avec la précieuse collaboration de :

- **Livio De Luca**, Directeur de l'UMR (CNRS/MCC) MAP (Modèles et simulations pour l'Architecture et le Patrimoine),
- **Jean-François Delhay**, ministère de la Culture, DGPAT, Chef du bureau de l'ingénierie et de l'expertise technique,
- **Marie-Claude Demoulin**, ministère de la Culture, DGPAT/DSIP, Chef de projet,
- **Philippe Grandvoinet**, ministère de la Culture, DGPAT, Sous-direction de l'enseignement supérieur et de la recherche en architecture,
- **Geneviève Pinçon**, Responsable du Centre national de la Préhistoire,
- **Thomas Sagory**, responsable de la collection Grands sites archéologiques et du développement numérique au musée d'Archéologie nationale et Domaine national de Saint-Germain-en-Laye,
- **Bertrand Sajus**, ministère de la Culture, SG / Département de l'innovation numérique.

Avec la contribution de **Ariane Néroulidis**, UMR (CNRS/MCC) MAP, chargée de médiation scientifique

CE DOCUMENT EST MIS A DISPOSITION SOUS LICENCE OUVERTE

**Ce guide pour la rédaction d'un cahier des charges de numérisation en 3D s'adresse en premier lieu aux Directions régionales des affaires culturelles (DRAC) et à leurs partenaires institutionnels. Il se nourrit de l'expérience du cahier des charges utilisé pour la numérisation de la grotte Cosquer (2016) et plus généralement de la commande du maître d'ouvrage public à des prestataires privés. Il s'appuie également sur des actions menées par des équipes évoluant au sein de l'accord-cadre CNRS-Ministère de la Culture : projet européen 3D-Icons, consortium 3D de la TGIR Huma-num, projet grottes ornées (MAP-Centre National de Préhistoire).**

Ce document a vocation à évoluer au fil du temps et à prendre en compte le retour des utilisateurs. Cette première version tient compte des retours d'expériences dans le domaine de l'archéologie et de l'architecture, elle sera mise à jour régulièrement. La prochaine version intégrera d'autres problématiques, notamment du monde muséal (ex : soilage, tomographie, réflectance, etc).

L'ensemble des recommandations s'articule autour de la réutilisabilité et de l'interopérabilité des données numériques. C'est pourquoi ce guide souligne la distinction entre les phases de collecte et de restitution. Dans un processus de numérisation, il convient en effet de distinguer l'acquisition des données brutes (nuage de points 3D) d'une part, et les traitements de données (analyses, interprétations et restitutions) d'autre part. Ces opérations peuvent faire l'objet de marchés indépendants. Les recommandations concernant la cession de droits ne sont pas livrées dans cette première version du document.

## **1. Définir le contexte et les objectifs**

Le cahier des charges doit tout d'abord définir le contexte pratique et organisationnel ainsi que les objectifs généraux de l'opération de numérisation.

Le contexte doit :

- Décrire les acteurs impliqués : quelle institution a la charge des objets à numériser (un musée par exemple) en termes de conservation, de recherche scientifique, etc. Quelle institution est responsable de la maîtrise d'ouvrage de l'opération de numérisation : par exemple, un service de la DRAC ;
- Définir l'objet matériel à numériser : définir précisément l'objet sur lequel porte la numérisation. De cette définition dépendent de nombreux aspects de la numérisation ;
- S'il s'agit d'un retraitement de données déjà acquises, décrire les acteurs impliqués dans la phase antérieure d'acquisition des données.

Les objectifs de la numérisation peuvent être, par exemple :

- Une étape d'un programme de recherche scientifique : par exemple permettre aux chercheurs de travailler sur un objet dont l'accès physique est difficile ;
- Restitution au public : permettre une meilleure visibilité de l'objet pour les visiteurs, ou bien de faciliter son accès aux handicapés ;
- L'archivage de l'objet : rendre compte de la forme tridimensionnelle de l'objet à un moment particulier ;
- Réalisation d'un constat d'état ou d'un état sanitaire.

## 2. Première phase : acquisition des données brutes

L'acquisition se fait in situ et a pour but de restituer la géométrie et l'aspect visuel de l'objet. Il s'agit de la première phase de numérisation de l'objet.

### *Description*

La numérisation est non interprétée, c'est un enregistrement des coordonnées spatiales brutes. Il convient d'anticiper le fait que la précision des techniques de numérisation (par exemple, la résolution des capteurs) augmentera rapidement dans les années à venir.

### *Conditions d'exécutions*

Définir le cadre physique, administratif et pratique d'exécution de la numérisation.

L'opération devra prendre en compte les précautions particulières inhérentes au lieu :

- Contraintes administratives d'accès (autorisations et assurances) ;
- Contraintes physiques (préparation du terrain, conditions météorologiques) ;
- Normes de sécurité (sécurité des vestiges et des personnes) ;
- Respect de l'intégrité de l'objet (digitalisation non destructive pour l'objet) ;
- Temps de présence (et capacité à revenir sur site) ;
- Accès à l'électricité.

La méthode et le protocole utilisés seront influencés par ces conditions.

### 2.1 L'acquisition des données 3D

Ces recommandations sont relatives au relevé de la morphologie, des dimensions et des aspects de surfaces. Ces spécifications intéresseront à la fois les aspects techniques liés à l'utilisation de différents types de capteurs, les aspects opératoires relatifs au choix des niveaux de résolution en fonction du type d'objet, ou encore les procédures permettant de fusionner les données acquises au cours de différentes campagnes et avec différents outils (station totale, scanner 3D, photogrammétrie, photomodélisation, etc.). D'autres spécifications concernent les critères d'échantillonnage des données 3D, les formats et les supports d'archivage.

### 2.2 Choisir les technologies en fonction des besoins

Restitution géométrique fine des formes (nuage de points denses) ;

Lasergrammétrie (triangulation optique ou temps de vol) :

- Photogrammétrie – corrélation stéréo et multi-stéréo.

Restitution géométrique sommaire des formes (réseaux de points) ;

- Méthodes topographiques (télémètre, théodolite, station totale, etc.) ;
- Modélisation à partir d'images (photogrammétrie, photomodélisation, etc.).

Restitution visuelle des formes (imagerie panoramique) :

- Imagerie panoramique (espaces et objets) ;
- Photomodélisation sommaire.

Installations techniques préconisées en fonction du type de relevé :

- par lasergrammétrie : utilisation de cibles damiers et de sphères ;
- par photogrammétrie : points de références matérialisés.

## 2.3 Choisir les technologies en fonction des dimensions et de la morphologie de l'objet

Pour les **grands volumes éloignés** (architecture, archéologie, etc.) :

- Scanners à temps de vol ;
- Scanners à décalage de phase.

Pour les **grands volumes peu éloignés** (intérieurs, groupes sculptés, etc.) :

- Scanners à différence de phase ou à triangulation optique ;
- Stéréophotogrammétrie ;
- Photogrammétrie multi-stéréo.

Pour les **objets de petite taille** (mobilier, collections de musées, etc.) :

- Scanners laser 3D triangulation optique ;
- Photogrammétrie multi-stéréo.

## 2.4 Définir le niveau de densité (ou de résolution) de la numérisation

Indépendamment du dispositif d'acquisition utilisé, la densité d'une numérisation 3D peut être définie comme le nombre de points saisis sur un élément de surface. Elle dépend de la résolution spatiale, distance cartésienne entre deux points successifs sur l'objet. Généralement, afin de déterminer le niveau de densité (ou de résolution) approprié à la numérisation il est suffisant d'identifier l'entité de surface la plus petite que l'on envisage de représenter (exemples : épaisseur des joints entre des blocs, élément de détail d'un objet, etc.).

Le niveau de densité peut également être défini localement (par zones) dans le cas d'objets présentant différents niveaux de complexité morphologique (exemple : dans la composition d'un édifice les éléments de décors (bas-reliefs, sculptures, etc.) présentent un niveau de complexité morphologique supérieur à celui des éléments architecturaux (piliers, baies, etc.).

Le choix de du niveau de densité (ou de résolution) de numérisation peut être fait :

- En fonction de la complexité morphologique de l'objet ;
- En fonction de l'état de conservation ;
- En fonction des contraintes d'acquisition (distances d'acquisition, présence d'occlusions, etc.).

## 2.5 Définir l'extension de la numérisation

La notion de couverture définit l'extension de la zone ou de la partie de l'objet à numériser.

Le choix de l'extension de la numérisation peut être fait :

- En fonction du type de traitement envisagé (représentation 2D, représentation 3D, etc.) ;
- En fonction des exploitations futures (potentielles ou envisagées) des données acquises ;
- En fonction des contraintes d'acquisition (distances d'acquisition, présence d'occlusions, etc.).

## 2.6 Recommandations pour la structuration des données

- Séparer les acquisitions des traitements ;
- Structurer en fonction des dispositifs utilisés ;
- Conserver un texte explicatif (et/ou un schéma) de référence concernant la numérisation.

## 2.7 Recommandations pour les formats d'archivage

Ces formats ont pour but d'assurer la capacité à relire et à re-compiler les données dans un avenir plus ou moins éloigné, en conservant le maximum d'informations de l'opération d'origine.

Pour les nuages de points :

- Le format .ptx peut être utilisé pour exporter un ensemble de numérisations 3D référencées ;
- Le format .ply peut être utilisé pour manipuler les objets 3D ;
- Le format .xyz peut être utilisé pour exporter une sélection (mais il est trop limité).

Pour les images photographiques :

- Acquérir les photographies au format .raw ou .tiff ;
- Les images au format brut (.raw ou .tiff) doivent être conservées ;
- La compression .jpeg doit être effectuée en dernier lieu.

## 2.8 Recommandations sur le plan et la terminologie

Préciser le plan à suivre (par exemple, similaire à celui du cahier des charges) ainsi que la terminologie à employer. Celle-ci doit être explicitée. Il peut s'agir par exemple de reprendre celle utilisée dans le cahier des charges ou bien de renvoyer à un lexique fourni en annexe, afin d'éviter les confusions et les contresens avec le prestataire.

# 3. Deuxième phase : Traitement des données [analyse, interprétation et restitution]

Le traitement des données numériques acquises est la deuxième phase de la numérisation.

## 3.1 La reconstruction géométrique 3D

Les recommandations concernant la reconstruction 3D sont identifiées en fonction d'un critère de complexité géométrique. Elles font référence à la fois aux principes géométriques sous-jacents des outils informatiques, et aux fonctions communes des solutions de modélisation géométrique 3D disponibles sur le marché. Toute méthode de reconstruction géométrique peut démarrer par une phase de pré-traitement des données acquises (nettoyage des points aberrants, consolidation, réduction du bruit, comblement des lacunes, etc). Il est essentiel de conserver les représentations intermédiaires pour éviter toute perte d'information.

### 3.1.1 Choisir les techniques de reconstruction 3D en fonction du degré de cohérence avec l'objet réel souhaité

La liste de techniques ci-dessous est ordonnée depuis la technique qui assure une forte cohérence géométrique avec l'objet réel jusqu'aux techniques qui introduisent des approximations de plus en plus importantes.

- Maillage automatique 3D à partir d'un nuage de points dense ;
- Reconstruction manuelle par extraction de profils et surfaces d'un nuage de points ;
- Reconstruction manuelle par primitives géométriques ajustés sur un réseau de points ;
- Reconstruction manuelle à partir de plans et élévation ;
- Reconstruction manuelle à partir de croquis.

Dans le dossier d'accompagnement d'une prestation de numérisation 3D, en fonction de la technique adoptée et afin de conserver des informations permettant d'évaluer le degré d'approximation de la reconstruction 3D par rapport aux données brutes issues de la phase d'acquisition 3D, il est recommandé de donner :

- Des informations sur la décimation effectuée sur les nuages de points d'entrée avant

de générer le maillage, même de façon approximative ;

- Des informations permettant d'estimer de façon approximative la disparité entre les données d'entrée et la géométrie reconstruite ; par exemple, le nombre de profils extraits du nuage de points et utilisé comme générateurs de surfaces ou la méthode utilisée pour ajuster les entités géométriques aux points d'entrée, etc.

## **3.2 L'enrichissement visuel de la géométrie**

En ce qui concerne l'enrichissement visuel des surfaces, seules les techniques de texturage par projection fine de photographies orientées sur le modèle 3D peuvent être considérées comme solution pour la numérisation, toute autre technique de texturage (liste ci-dessous) relève plutôt de l'infographie.

### ***3.2.1 Identifier les techniques d'enrichissement visuel en fonction de leur cohérence avec l'objet réel***

La liste de techniques ci-dessous est ordonnée depuis la technique qui assure une forte cohérence projective avec l'objet réel jusqu'aux techniques qui introduisent des approximations de plus en plus importantes.

- Texturage par projection fine de photographies orientées sur le modèle 3D ;
- Texturage par échantillons photographiques de matériaux ou de parties de l'objet numérisé ;
- Texturage par échantillons photographiques de matériaux génériques ;
- Matériaux de synthèse (avec différents niveaux de réalisme).

### ***3.2.2 Recommandations pour l'archivage des fichiers d'enrichissement visuel***

L'archivage de l'enrichissement visuel d'un modèle 3D (textures, couleurs, etc.) est parfois difficile dans la mesure où, dans la plupart des cas, ces éléments sont directement reliés aux fichiers de modélisation et de rendu, et souvent en format propriétaire. Malgré tout, les recommandations techniques ci-dessous assurent la conservation d'un certain nombre d'éléments réutilisables dans d'autres contextes d'exploitation.

- Conserver les textures à différents niveaux de résolution (structurées de façon identique) ;
- Conserver les images sources utilisées pour la génération des textures ;
- Privilégier les formats .jpg, .png, .tiff, .bmp, .tga pour les textures basées sur l'image ;
- Privilégier le format ColladaFX pour les textures et les matériaux de synthèse.

## **3.3 Définir la structuration du modèle 3D résultant de la reconstruction géométrique**

Une reconstruction géométrique 3D peut aboutir à une représentation des formes composées d'un seul maillage géométrique comme à une collection d'entités géométriques structurées en fonction de plusieurs critères. En fonction de l'exploitation, ou des exploitations envisagées, il est important d'identifier un type de structuration souhaité. Dans certains cas, il est également important d'identifier un responsable scientifique assurant la cohérence de la nomenclature employée pour la structuration des entités en fonction d'un vocabulaire spécialisé.

Le modèle 3D résultant de la reconstruction géométrique peut être structuré de trois manières différentes :

- Décomposé en entités ;
- Décomposé en entités organisées hiérarchisées (par exemple les édifices) ;
- Décomposé en entités organisées en classes (par exemples les objets avec plusieurs matériaux).

### **3.3.1 Recommandations pour l'archivage des données de reconstruction géométrique 3D**

Afin d'exploiter plus commodément des reconstructions géométriques 3D dans d'autres contextes que celui prévu par la prestation initiale, il est important de conserver des informations relatives aux traitements effectués.

Il est important de :

- Conserver les différentes versions (historique) de la reconstruction 3D (même si c'est en format propriétaire) ;
- Conserver une notice sur la plate-forme hardware et software utilisée.

En ce qui concerne l'archivage final du modèle 3D, il faut prendre en compte les formats de fichier permettant de travailler sur la numérisation de l'objet comme étant la matière première pour un infographiste 3D. Dans un souci de pérennisation des données, les formats suivants sont recommandés :

- Collada (.dae)
- .stl
- .obj
- .vrmf
- .ply

## **3.4 La reconstitution hypothétique**

La reconstitution hypothétique de l'état d'un objet à valeur patrimoniale relève principalement de questions liées au raisonnement archéologique et à l'étude historique. Néanmoins, un certain nombre de recommandations techniques, spécifiques de la représentation graphique tridimensionnelles des hypothèses, peuvent être indiquées.

### **3.4.1 Identifier la démarche méthodologique pour l'élaboration de la reconstitution hypothétique**

Tout en étant liée principalement à l'analyse de sources iconographiques et aux connaissances historiques, la démarche méthodologique pour l'élaboration de reconstitutions hypothétiques peut s'appuyer sur la manipulation de représentations métriques (2D, 3D) des parties existantes de l'objet pris en examen. En fonction du type d'information manipulée pour la construction du modèle hypothétique d'un objet, on peut parler de :

- Reconstitution à partir de la numérisation 3D de parties existantes (ou ayant existé) de l'objet ;
- Reconstitution à partir de relevés 2D antérieurs de parties existantes (ou ayant existé) de l'objet ;
- Reconstitution à partir de sources iconographiques non métriques relatives à l'objet ;
- Reconstitution à partir de sources iconographiques (métriques et/ou non métriques) relatives à d'autres objets.

### **3.4.2 Recommandations pour l'élaboration de reconstitutions hypothétiques**

Ces recommandations ne conditionnent pas forcément les modes opératoires, mais soulignent l'importance de la dimension scientifique, de la rigueur intellectuelle et de la transparence dans l'élaboration d'une reconstitution hypothétique.

- Identifier un ou des responsables scientifiques qui accompagneront et valideront les élaborations ;
- Conserver et associer à l'élaboration graphique les références bibliographiques et les sources iconographiques ayant servi à l'élaboration ;
- Identifier et conserver les informations pouvant définir le degré d'incertitude (lacunes d'information, doutes, etc.) intégré à la représentation de l'hypothèse.



### 3.4.3 Recommandations sur la rematérialisation de l'objet

La rematérialisation de l'objet à échelle 1:1 ou à une échelle différente de celle de l'objet original peut aujourd'hui être réalisée à partir d'un modèle volumique à travers différentes techniques d'impression 3D.

Quelle que soit l'application envisagée (taille directe sur des matériaux solides, réplique d'objet, validation ou simulation physique de modes de fonctionnement, impression d'éléments de soclage, etc) il est important de :

- Définir le niveau de détail (et la précision métrique) en fonction de matériaux et des technologies utilisées pour réaliser l'objet physique (exemple : ABS ou PLA pour l'impression 3D ou usinés aux côtes demandées, choix de l'essence de bois, etc)
- Définir la patine d'après la couleur originale (identification des pigments et/ou finitions utilisés).

## 4. Recommandations pour la livraison des données

Le prestataire doit livrer le format natif des données ainsi que le format ouvert, si le format natif du capteur est propriétaire. Pour des raisons de conservation pérenne, les données doivent être livrées dans au moins l'un des formats suivants :

- Pour la livraison des données, il est important de suivre les recommandations relatives à l'archivage des différentes étapes de traitement décrites. Pour rappel, les formats à privilégier sont :
- Pour les photographies (.RAW ou .TIFF) ;
- Pour les nuages de points 3D (.PTX, . PLY., XYZ.,) ;
- Pour les modèles 3D ( DAE ; OBJ ; PLY ; IDE ; RTF )

Chaque objet numérique doit être livré avec ses métadonnées. Mis à part les métadonnées propres à chaque capteur, le prestataire doit indiquer le choix technique et le processus de traitement, objet par objet (version des logiciels et type de matériel utilisé).

L'ensemble de ces informations doit être livré sous la forme d'un tableau récapitulatif avec les fichiers de données complétés d'un tableau avec la liste des acteurs impliqués.

Le maître d'ouvrage doit programmer une livre en deux étapes :

- Étape 1 : une remise des données, suivie d'un contrôle d'un échantillon par le maître d'ouvrage ;
- Étape 2 : une réunion avec le prestataire pour la restitution et la prise en mains des données par les utilisateurs.

## 5. Recommandations pour les supports de livraison de données

La livraison des données peut s'effectuer sur les supports suivants :

- CD
- clés USB
- disque dur externe
- cloud

Attention à la mise en ligne des données sur un système propriétaire : dans l'hypothèse où le prestataire ne serait plus en mesure d'assurer le suivi de la plateforme, les données seraient perdues.

## Remarques complémentaires :

Pour le suivi de projet, établir un calendrier prévisionnel en prévoyant un délai de carence pour la date de livraison.

Définir les différents types de livrables :

- Ortho-images (échelle, géoréférencement [Lambert 93, WGS 84...], relevés topographiques fournis avec calepinage, incertitude de mesure - résidus quantifiés, système de coordonnées géographiques identifiés clairement) ;
- Élévations, coupes, plans généraux et de détails (format vectoriel, AI, DWG...) ou raster selon besoin (échelle graphique présente, légende, orientation) par exemple pour les études de bâti, etc ;
- Rapport de mesures (tableau excel, etc) ;
- Modèle 3D (PDF3D, obj, rtf, dae, etc) : exports compatibles avec les programmes du commanditaire, etc ;
- Données éventuellement fournies avec un logiciel de visualisation gratuit permettant la lecture du modèle 3D et la manipulation/prise de mesure/coupes/plans d'exports possibles (interopérabilité).

*NB : possibilité de demander des extractions supplémentaires sans frais (coupes, points de vue)*





---

## **GUIDE POUR LA RÉDACTION D'UN CAHIER DES CHARGES NE NUMÉRISATION EN 3D**

Ministère de la Culture  
Secrétariat général  
182, rue Saint-Honoré, 75033 Paris cedex 01