



# Étude sur la qualité de la numérisation en 3D du patrimoine culturel matériel : cartographie des paramètres, formats, normes, critères de référence, méthodologies et lignes directrices

Résumé



## **Identification interne**

Numéro de contrat : LC-01549024

Numéro VIGIE : 2020/654

### COMMISSION EUROPEENNE

Direction générale des réseaux de communication, des contenus et des technologies

Directorat G — Données

Unité G2 — Technologies interactives, digitalisation de la culture et de l'éducation

Contact : *CNECT-G2@ec.europa.eu*

*Commission Européenne  
L- 2557 Luxembourg*



**Étude sur la qualité de la  
numérisation en 3D du patrimoine  
culturel matériel :  
cartographie des paramètres,  
formats, normes, critères de  
référence, méthodologies et lignes  
directrices**

VIGIE 2020/654

Résumé

## Introduction

Cette étude réalisée pour la Commission européenne a pour but de soutenir l'effort de numérisation en 3D dans toute l'Europe et de soutenir ainsi les objectifs de la recommandation relative à un espace européen commun de données pour le patrimoine culturel (C (2021) 7953 final), adoptée le 10 novembre 2021. La recommandation encourage les États membres à mettre en place des stratégies numériques pour le patrimoine culturel, fixant des objectifs clairs en matière de numérisation et de conservation numérique visant à améliorer la qualité grâce à l'utilisation de technologies de pointe, notamment la 3D.

L'étude vise à cartographier les paramètres, les formats, les normes, les critères de référence, les méthodologies et les lignes directrices relatifs à la numérisation en 3D du patrimoine culturel matériel. L'objectif général est de renforcer la qualité des projets de numérisation en 3D en permettant aux professionnels du patrimoine culturel, aux institutions, aux développeurs de contenus, aux parties prenantes et aux universitaires de définir et de produire des normes de numérisation de haute qualité pour le patrimoine culturel matériel.

Cette étude unique recense les paramètres clés du processus de numérisation, évalue la complexité relative et la manière dont elle est liée à la technologie, son impact sur la qualité et ses différents facteurs. Elle recense également les normes et formats utilisés pour la numérisation en 3D, y compris les types de données, les formats de données et les schémas de métadonnées pour les structures en 3D. Enfin, l'étude fait une estimation de l'impact potentiel des avancées technologiques futures sur la numérisation en 3D.

## 1. Le processus de numérisation du patrimoine culturel mobilier et immobilier — concepts clés

Selon l'UNESCO<sup>1</sup>, le patrimoine culturel (PC) matériel englobe le patrimoine mobilier, immobilier et sous-marin. L'enregistrement numérique du PC est une étape essentielle pour comprendre et conserver les valeurs de la mémoire du passé, créer un enregistrement numérique exact pour l'avenir, fournir un moyen d'éduquer, de former et de communiquer à la société les connaissances et la valeur des objets tangibles. La représentation numérique des objets, structures et environnements du PC est essentielle pour l'analyse pratique, la conservation et l'interprétation. La sélection de la technologie et du flux de travail idéal pour la numérisation en 3D d'objets tangibles du PC est une procédure complexe et difficile qui nécessite un examen attentif des paramètres suivants.

### Exactitude et précision

L'**exactitude** fait référence à quel point une mesure est proche de la valeur réelle ou correcte, tandis que la **précision** est la proximité entre les mesures répétées. Les mesures peuvent être à la fois exactes et précises, exactes mais pas précises, précises mais pas exactes, ou ni exactes ni précises. Un instrument d'enquête fiable est cohérent; un instrument valide est exact. Il n'existe pas de cadre ni de méthodologie reconnus au niveau international pour préciser la qualité des détails et de l'exactitude dans la numérisation du PC.

### Planification du processus de numérisation

L'enregistrement de PC matériel nécessite une compréhension approfondie des exigences des parties prenantes, des spécifications techniques nécessaires, des conditions environnementales existantes et de l'utilisation prévue du modèle 3D final. La sélection des ressources humaines et de la technologie de numérisation optimales est généralement liée aux spécifications techniques, à la taille, à la complexité, au matériel, à la texture, à la localisation, à l'accessibilité, aux droits de propriété intellectuelle et à la précision requis. Pour les grandes surfaces, telles que les monuments ou la cartographie architecturale, une combinaison d'enquêtes aériennes et topographiques normales, de scannage laser et de techniques photogrammétriques est souvent utilisée. Outre le coût du matériel et des logiciels associés, il convient de tenir compte d'un investissement

---

<sup>1</sup> UNESCO: <https://bit.ly/3oEEeRB>

## Étude sur la qualité de la numérisation en 3D du patrimoine culturel matériel : cartographie des paramètres, formats, normes, critères de référence, méthodologies et lignes directrices

considérable dans du personnel qualifié et du temps consacré à la formation spécialisée. Par conséquent, toute planification de projet devrait traiter avec précision et élaborer de manière cohérente un ensemble de données documentaires, tout en gardant à l'esprit les contraintes du projet, notamment les conditions environnementales et de sécurité, les équipements disponibles, les ressources humaines qualifiées, le budget et le calendrier.

### Enregistrement actif et passif

La numérisation en 3D de PC matériel est un processus intrinsèquement complexe en plusieurs étapes. Les méthodes de documentation faisant appel à des systèmes rayonnants peuvent être catégorisées en systèmes **pénétrant** (comme les rayons X en médecine ou les rayons cosmiques pour les pyramides) et systèmes **non pénétrants** (comme l'énergie électromagnétique couvrant le spectre visible et infrarouge). Toutefois, pour les applications 3D, une légère pénétration à l'intérieur du matériau est généralement acceptable, et c'est la raison pour laquelle les sources lumineuses pour le 3D ne vont jamais au-delà de l'infrarouge proche. Au sein des dispositifs non pénétrants, il convient d'établir une distinction supplémentaire entre *les systèmes actifs et passifs*; les méthodes actives dirigent l'énergie rayonnante pour marquer un point dans l'espace, tandis que les méthodes passives enregistrent le rayonnement réfléchi d'une surface.

### Acquisitions intérieures et non contrôlées

L'acquisition d'images **à l'intérieur** est plus souvent utilisée pour des objets dans des musées ou des collections (qui ne peuvent pas être déplacés), généralement de petite ou moyenne taille, et présente plusieurs défis. La taille, le poids, les conditions particulières d'éclairage, les matériaux, les propriétés des objets et leur structure intérieure influencent directement la complexité de la documentation. L'acquisition **non contrôlée** est généralement utilisée pour des scènes extérieures ou tout autre environnement où les conditions (ombres, temps, etc.) ne sont pas entièrement maîtrisées. Les objets de grande envergure tels que les bâtiments, les fouilles ou les sites archéologiques à haute précision (mm-cm) sont classés dans cette catégorie.

### Déterminer la complexité

La complexité est un aspect essentiel de la planification d'un projet de documentation géométrique. Il s'agit des variantes géométriques, de surface/texture, de composition des matériaux et d'échelle/application. En outre, une dimension essentielle de la complexité réside également dans les exigences des parties prenantes, qui peuvent inclure la localisation, l'état, la mise en place du projet d'acquisition de données, l'expérience des opérateurs multidisciplinaires sur place et la fusion de plusieurs ensembles de données provenant de différents dispositifs et de leurs utilisateurs/spécialistes (équipements et prétraitement des données) en une seule archive pouvant être visualisée d'une manière aisément accessible et consultable.

Une enquête en ligne visant à établir la perception de la communauté de la numérisation en 3D (944 réponses reçues de 420 répondants à l'enquête) a identifié les paramètres suivants comme les trois principaux facteurs de complexité: a) Conditions de surface; b) Accès au site; et c) Qualité des données scannées.

En outre, des entretiens menés au cours de nos travaux avec 49 parties prenantes clés et des professionnels qualifiés dans le domaine de la numérisation en 3D ont montré que, les facteurs les plus fréquemment mentionnés comprennent l'importance des exigences des parties prenantes en ce qui concerne les cadres de documentation numérique en 3D, l'état de l'objet avant/pendant le processus d'enregistrement, la localisation et les conditions environnementales pendant la numérisation, ainsi que le niveaux d'expertise des personnes concernées.

Le défi consiste à gérer toutes les activités connexes qui se déroulent simultanément au cours de la phase d'acquisition des données afin de produire des résultats de haute qualité sans perdre d'informations. Les technologies optimales de numérisation sont généralement liées aux spécifications techniques souhaitées, à la taille, à l'état, au matériel, à la texture, à la localisation, à l'accessibilité et à la précision requise. Ces considérations sont intégrées dans le **schéma opérationnel** élaboré au cours de l'étude.

### Comment la complexité est-elle liée à la technologie ?

Certaines technologies et méthodes d'enregistrement de données sont plus adaptées à des applications spécifiques que d'autres (telles que la tomographie informatique). La sélection de la technologie d'acquisition de données est généralement liée aux exigences souhaitées des parties prenantes, aux spécifications techniques, à la taille, à la complexité, au matériel, à la texture, à

l'accessibilité et à la précision requise. Le rapport décrit les technologies courantes utilisées pour la documentation 3D de PC matériel en termes de degré de complexité.

### Impact de la complexité sur la qualité

La complexité de la numérisation en 3D de PC peut être définie dès lors que les exigences des parties prenantes ont été déterminées, que les spécifications du projet sont fixées, que la localisation de l'objet et les conditions environnementales sont connues et que l'objet est défini. L'enquête en ligne menée pour l'étude a analysé la perception de la complexité que les experts ont en ce qui concerne l'utilisation des technologies. Selon eux, la complexité est liée au degré et au type d'informations qu'ils souhaitent obtenir, aux problèmes liés aux logiciels et au budget, aux défis que présente la surface d'un objet spécifique et à la localisation d'un monument.

Toute définition de la complexité de l'objet doit inclure les caractéristiques suivantes:

- Elle fait référence à la fois à la saisie des données 3D et à la modélisation/cloud des points de traitement des données,
- Elle est calculée de manière objective,
- Elle est estimée avant la phase d'acquisition des données,
- Elle relie la qualité, la technologie et la finalité de l'utilisation,
- Elle prévoit des alertes et des limites aux phases d'enregistrement et de traitement, et
- Elle offre un outil utile pour planifier à la fois l'acquisition des données et le processus de modélisation 3D.

Toute définition de la complexité de la numérisation en 3D de PC devrait tenir compte des paramètres suivants:

- Les besoins des parties prenantes, y compris le budget total et la durée,
- La définition de l'objet et sa description détaillée,
- La localisation de l'objet et les conditions environnementales pendant la durée de la documentation,
- Une expertise pluridisciplinaire essentielle et devrait être disponible pour la documentation,
- L'équipement d'acquisition de données est calibré et le logiciel est mis à jour et disponible, et
- Les connaissances relatives au matériel et aux logiciels de haute technologie à utiliser et sont mises à jour et disponibles pour le prétraitement des données 2D (images) et 3D scannées (cloud de points 3D).

## 2. Exemple de complexité

Au cours de l'étude, l'ensemble des paramètres déterminant les niveaux de complexité et plus largement liés à la qualité ont été examinés dans le cadre de 43 cas (25 immobiliers et 18 mobiliers). Un catalogue des technologies d'acquisition de données et de leurs formats de production a également été élaboré. L'annexe 1 du rapport fournit des descriptions succinctes de chaque cas. D'autres taxonomies contextuelles ont été élaborées pour le patrimoine mobilier et immobilier. Lors de l'élaboration d'une taxonomie de complexité pour le patrimoine mobilier, chaque élément unique spécifique à l'objet doit être pris en compte. Une exigence essentielle pour **la numérisation complète** d'un bien consiste à collecter des données relatives à ces facteurs et à les représenter avec exactitude.

## 3. Paramètres déterminant la qualité

La qualité est un élément fondamental de la numérisation en 3D de PC, et elle constitue un défi essentiel, étant donné que les structures de fabrication manuelle ou naturelle de PC matériel sont extrêmement différentes. La qualité peut comprendre différents paramètres tels que le degré de détail, la précision géométrique des formes 2D et 3D, le spectral, l'échelle et la texture, les propriétés des matériaux et la composition chimique, ainsi que le contrôle de santé des structures. Ces paramètres peuvent être combinés dans les catégories suivantes: a) Géométrie; b) Image; c) Matériel; et d) contrôle de santé des structures.



## Étude sur la qualité de la numérisation en 3D du patrimoine culturel matériel : cartographie des paramètres, formats, normes, critères de référence, méthodologies et lignes directrices

Les paramètres de qualité font référence aux différentes étapes du processus de numérisation en 3D et varient en fonction du type de PC matériel et de l'équipement et de la méthodologie utilisés. Les finalités ou utilisations possibles du matériau 3D qui en résulte déterminent également différentes combinaisons et niveaux de ces paramètres afin de déterminer le niveau minimal de qualité qui correspond à la définition.

D'après les réponses à l'enquête de l'étude, les trois principaux paramètres de qualité pour garantir la qualité du processus de numérisation sont les suivants: a) conditions de surface, b) qualité des images et c) conditions environnementales.

Les utilisations possibles pour le matériel 3D qui en résulte déterminent également différentes combinaisons et niveaux de ces paramètres afin d'atteindre le niveau minimal de qualité correspondant à la définition. Il est également essentiel de distinguer les différences entre l'exactitude des données (en tant que marge d'erreur acceptable), la précision et la résolution en ce qui concerne la géométrie.

### 4. Normes et critères de référence

L'étude constate suite aux 49 entretiens avec des professionnels clés qu'il n'existe pas de normes pour la planification, l'organisation, la mise en place et la mise en œuvre d'un projet d'acquisition de données en 3D. Certains experts ont mentionné la nécessité de faire la distinction entre les normes disponibles pour la gestion, l'administration des projets, la sécurité, la santé et l'accès à l'objet/au site pour le personnel, le mouvement des objets et les normes disponibles pour le traitement et la représentation des données.

Le rapport analyse les formats les plus utilisés et fournit une discussion approfondie sur le scanning laser terrestre/modélisation 3D et la photogrammétrie/photographie numérique. Il précise les distinctions à établir entre les limitations de données relevant du droit de propriété et celles en format ouvert (minimales ou maximales), ainsi que l'appréciation de l'exactitude des données en l'absence de protocoles internationaux pour l'assurance de la qualité des données. Une observation importante est que les formats évoluent à mesure que les utilisateurs et les développeurs identifient et intègrent de nouvelles fonctionnalités.

### 5. Identification des lacunes, formats, normes, indices de référence, méthodologies et lignes directrices supplémentaires

Il n'existe pas de lignes directrices sur les moyens et les quantités minimales de données à collecter ni sur la qualité à atteindre lors de l'acquisition des données, qui dépend entièrement des exigences des parties prenantes. Il semble y avoir peu de consensus parmi les équipes pluridisciplinaires internationales sur ce que signifient les normes d'acquisition de données numériques 2D/3D, ainsi que sur l'obsolescence lorsque de nouveaux logiciels ne fournissent pas de compatibilité rétrospective avec des formats de fichiers plus anciens.

Lors de la définition d'un projet, il est essentiel de comprendre les exigences des parties prenantes concernant les différents formats de fichiers de production afin d'éviter des produits incohérents et des ensembles de données propriétaires inutilisables. Il existe des centaines de formats de fichiers différents, notant que les scanners laser terrestres, par exemple, produisent des données brutes dans divers formats. Les formats propriétaires, tels que TIFF ou JPG, sont considérés comme fiables; toutefois, ces formats seront, en fin de compte, susceptibles à des problèmes de mise à niveau et d'obsolescence. En outre, les formats open source peuvent être considérés comme neutres et pas tributaires de modèles commerciaux pour leur développement; toutefois, ils peuvent également être considérés comme vulnérables aux sensibilités des communautés qui les soutiennent.

Au niveau novice, ou pour ceux dont l'expertise est limitée, des formes d'orientation différentes et plus élémentaires peuvent être nécessaires pour promouvoir des compétences qui permettent la numérisation en 3D à grande échelle en Europe. Certaines des questions clés ont porté sur le cadre conceptuel nécessaire pour traiter les cas d'utilisation des dioramas numériques, notamment en augmentant la profondeur des images en 2D actuelles et en intégrant une ou plusieurs canevas dans une scène 3D. Toutefois, compte tenu des exigences croissantes des utilisateurs et des institutions,



des évolutions techniques et des exemples de collecte et d'intégration de ressources virtuelles dans le domaine de la recherche avancée (par exemple Sketchfab, Smithsonian3D, 3DHOP, Potree, ScanTheWorld, Clara.io, morphosource.org, Exhibit.so, hubs.mozilla.com, sayduck.com, Europeana.eu, etc.), il est urgent de disposer de spécifications techniques pour garantir l'interopérabilité et la durabilité à long terme.

## 6. Incertitude

Reconnaissant les défis et l'absence de consensus sur l'expression de l'incertitude en matière de mesure, différentes organisations du monde entier ont collaboré avec le Comité international des Poids et Mesures pour élaborer une définition plus réaliste. L'incertitude concernant la complexité et la qualité de l'acquisition des données est abordée dans le rapport dans le contexte de l'expression de la qualité dans la numérisation en 3D.

## 7. Impact potentiel des avancées technologiques futures

Les progrès attendus dans les logiciels d'acquisition de données 2D/3D combinés à des algorithmes d'intelligence artificielle dans différents appareils faciliteront, accéléreront, et rendront plus précis et plus informatifs la numérisation en 3D. La compilation automatique de différents types de données provenant de différents dispositifs et fabricants, l'extraction et la reconnaissance des caractéristiques géométriques, des matériaux et des questions environnementales créeront de nouveaux défis et imposeront des exigences plus élevées. Le développement dans ce domaine nécessitera de nouvelles compétences, de l'expertise spécialisée et de la formation. De nouvelles normes, de nouvelles réglementations et de nouvelles méthodologies pour l'acquisition des données internationalement acceptées seront nécessaires.

En outre, la compression automatique et le transfert de données par l'intermédiaire de la 5G, de la 6G et de connexions internet solides avec de nombreux gigaoctets de bande passante du terrain au cloud seront bientôt en place pour améliorer l'archivage, l'utilisation mondiale en temps réel ainsi que la disponibilité et la préservation à long terme. Des lignes directrices pour le domaine du PC seront nécessaires en ce qui concerne les futurs formats pour les données, les métadonnées et les paradonnées, garantissant l'interopérabilité et la longévité des données. Pour l'analyse, le blockchain, l'informatique en cloud et mobile, les ontologies, l'internet des objets, le LiDAR terrestre et aérien et l'apprentissage automatique ne sont que quelques technologies qui ont transformé le secteur de la construction et auront sans aucun doute une incidence sur le secteur du PC très prochainement. L'intérêt accru pour la réalité A/V/MX, les véhicules aériens sans pilote, l'intelligence artificielle/l'apprentissage automatique, et l'informatique cloud et mobile permettra à ces nouveaux systèmes de jouer un rôle indispensable dans la gestion, la documentation, la modélisation, la conservation, l'interprétation et la protection du PC. Par conséquent, le développement de ces systèmes aura une incidence directe sur l'industrie du PC (musée virtuel, sites virtuels, villes intelligentes, bibliothèques numériques 3D, fabrication et archivage en ligne). Le rapport examine plus en détail le potentiel de ces technologies, parallèlement aux données ouvertes, à la modélisation des données de bâtiments du patrimoine (HBIM), à la modélisation holistique des données de bâtiments et aux jumeaux numériques.

## ENTRER EN CONTACT AVEC L'UE

### En personne

Dans toute l'Union européenne, des centaines de centres d'information Europe Direct sont à votre disposition. Pour connaître l'adresse du centre le plus proche, visitez la page suivante:

[https://europa.eu/european-union/contact\\_fr](https://europa.eu/european-union/contact_fr)

### Par téléphone ou email

Europe Direct est un service qui répond à vos questions sur l'Union européenne. Vous pouvez contacter ce service : numéro gratuit : 00 800 6 7 8 9 10 11 (certains opérateurs peuvent facturer les appels),

– Au numéro suivant : +32 22999696 ou

– par email via : [https://europa.eu/european-union/contact\\_fr](https://europa.eu/european-union/contact_fr)

## RECHERCHE D'INFORMATIONS SUR L'UE

### En ligne

Des informations sur l'Union européenne dans toutes les langues officielles de l'UE sont disponibles sur le site Europa : [https://europa.eu/european-union/index\\_fr](https://europa.eu/european-union/index_fr)

### Publications UE

Vous pouvez télécharger ou commander des publications gratuites et payantes de l'UE à l'adresse suivante : <https://publications.europa.eu/en/publications>. De multiples exemplaires des publications gratuites peuvent être obtenus en contactant Europe Direct ou votre centre d'information local ([https://europa.eu/european-union/contact\\_fr](https://europa.eu/european-union/contact_fr)).

### Droit de l'UE et documents connexes

Pour accéder aux informations juridiques de l'UE, y compris à l'ensemble du droit de l'UE depuis 1952 dans toutes les versions linguistiques officielles, consulter EUR-Lex : <http://eur-lex.europa.eu>.

### Données ouvertes de l'UE

Le portail de données ouvertes de l'UE (<https://data.europa.eu/euodp/fr/home>) donne accès aux ensembles de données de l'UE. Les données peuvent être téléchargées et réutilisées gratuitement, à des fins commerciales et non commerciales.

