

Guide des bonnes pratiques pour la numérisation 3D : les étapes pour réussir

UN GUIDE BASÉ SUR L'ÉTUDE VIGIE2020/654
DE L'UE SUR LA QUALITÉ DE LA NUMÉRISATION 3D
DU PATRIMOINE CULTUREL MATÉRIEL



European Union's REKconstructed content in 3D

GUIDE DES BONNES PRATIQUES POUR LA NUMÉRISATION 3D : LES ÉTAPES POUR RÉUSSIR

Un guide basé sur l'étude VIGIE2020/654 de l'UE sur la qualité de la numérisation 3D du patrimoine culturel matériel

Ce guide est conçu pour accompagner toute personne engagée dans un processus de numérisation 3D. Il s'adresse particulièrement aux professionnels du patrimoine culturel qui envisagent, ou sont en train, de numériser leurs collections matérielles. Il présente et simplifie les méthodologies recommandées dans l'étude européenne VIGIE2020/654 (Étude sur la qualité de la numérisation 3D du patrimoine culturel matériel, publiée en avril 2022), élaborée en réponse à la recommandation européenne (UE 2021/1970 sur un espace européen commun de données pour le patrimoine culturel, publiée en novembre 2021). Cette recommandation invite les États membres à numériser en 3D, d'ici 2030, tous les monuments et sites considérés comme à risque.

Ce guide a été réalisé dans le cadre du projet Eureka3D, un projet européen cofinancé par l'Union européenne (subvention n° 101100685).



Co-funded by
the European Union

Légende de l'image de couverture :

Le chalutier de pêche Lambousa. EU ERA and UNESCO Chairs on Digital Cultural Heritage - Cyprus University of Technology. Avec le soutien et la coopération de la municipalité de Limassol.

Première version : juin 2024

ISBN: 978-84-8496-324-0

Traduction : janvier 2026

Guide des bonnes pratiques pour la numérisation 3D : les étapes pour réussir

UN GUIDE BASÉ SUR L'ÉTUDE VIGIE2020/654
DE L'UE SUR LA QUALITÉ DE LA NUMÉRISATION 3D
DU PATRIMOINE CULTUREL MATÉRIEL

Table des matières

Introduction	5
Scénarios d'usage et parties prenantes	5
Pourquoi numériser en 3D ?	6
Note sur la qualité	7
Note sur la complexité	8
Numérisation 3D : les étapes pour réussir	9
1. Planification du projet	9
1.1. Gestion de projet	9
1.2. Descriptif du projet	12
2. Documentation et travail sur site	13
2.1. Analyse de l'objet / analyse du site	13
2.2. Solution technique	14
2.3. Méthodes d'acquisition 2D et 3D	15
3. Production et livraison	17
3.1. Production – gestion des données	17
3.2. Résultats et livrables	19
3.3. Production	20
4. Archivage	21
Publication et diffusion	22
Checklist : la numérisation 3D étape par étape	25

Introduction

Ce guide est conçu pour accompagner toute personne engagée dans un processus de numérisation 3D. Le terme *numérisation* désigne l'ensemble du processus visant à produire un modèle numérique à partir d'un objet réel. Il comprend notamment la phase d'acquisition des données, c'est-à-dire la captation d'images, de mesures ou de scans sur l'objet, le monument ou le site, ainsi que les étapes de traitement nécessaires pour générer un modèle exploitable.

Ce guide s'adresse particulièrement aux professionnels du patrimoine culturel qui envisagent, ou sont en train de numériser, leurs collections matérielles. Il présente et simplifie les méthodologies recommandées dans l'**étude européenne VIGIE 2020/654** (Étude sur la qualité de la numérisation 3D du patrimoine culturel matériel, publiée en avril 2022), élaborée en réponse à la **recommandation européenne** (UE 2021/1970 sur un espace européen commun de données pour le patrimoine culturel, publiée en novembre 2021). Cette recommandation invite les États membres à numériser en 3D, d'ici 2030, tous les monuments et sites considérés comme à risque.

Ce guide a été réalisé dans le cadre du projet **Eureka3D**, un projet européen cofinancé par l'Union européenne (subvention n° 101100685).

Scénarios d'usage et parties prenantes

L'acquisition de données pour les biens matériels du patrimoine culturel, qu'ils soient mobiliers ou immobiliers, présente des degrés de complexité variables selon le scénario d'usage et le contexte. Par exemple, la numérisation de petits artefacts dans un environnement contrôlé diffère profondément de celle d'épaves sous-marines ou d'objets situés dans des grottes. Chaque scénario exige une analyse préalable rigoureuse afin d'évaluer son niveau de complexité. Cette étape permet au chef de projet d'anticiper les défis prévisibles et d'atteindre les objectifs dans les contraintes fixées (budget, temps, ressources humaines et matérielles, infrastructures, usages prévus des modèles, etc.).

Ce guide s'adresse particulièrement à trois types de profils :

- **Responsables de musées** souhaitant numériser tout ou partie de leurs collections dans des conditions contrôlées.

- **Administrations publiques** et propriétaires de monuments/sites souhaitant numériser des biens immobiliers de grande taille.
- **Parties prenantes impliquées** dans la numérisation d'un site dans son intégralité.

Le patrimoine mobilier – Il englobe aussi bien les photographies et peintures que les objets en métal, céramique, verre, bois, cuir, textile et autres matériaux composites. Ces objets peuvent être bidimensionnels ou tridimensionnels, composés d'un ou plusieurs matériaux et présenter une ou plusieurs couches.

Le patrimoine immobilier – Il comprend les bâtiments, terrains et autres éléments présentant une valeur historique, généralement dotés de fondations fixées au sol. Cela inclut notamment : châteaux, maisons, manoirs, tours, églises, monastères, presbytères, hôtels particuliers, palais, architectures rurales traditionnelles, monuments techniques ou industriels, théâtres, musées, colonnes de peste et sanctuaires. Cette catégorie s'étend également aux grottes et au patrimoine subaquatique, tels que les épaves, ruines et structures immergées, qui abritent souvent des objets architecturaux complexes et du mobilier intérieur d'un grand intérêt historique.

Avant de poursuivre la lecture, il est recommandé de [télécharger et consulter l'étude complète](#) VIGIE2020/654 pour approfondir les éléments correspondant à votre scénario de numérisation.

Pourquoi numériser en 3D ?

Chaque objet patrimonial est unique et porte une part essentielle de l'histoire humaine. La numérisation 3D constitue un outil précieux pour préserver cette mémoire et la transmettre aux générations futures. Pour assurer une documentation fidèle, durable et exploitable, il est essentiel de réaliser l'acquisition des données de manière professionnelle, rigoureuse et aussi exhaustive que possible.

Afin de répondre aux besoins de protection, de conservation à long terme et d'usage par un large éventail d'utilisateurs finaux, il est fortement recommandé de numériser avec le niveau de qualité le plus élevé possible. Cela inclut la capture du maximum d'informations (métadonnées, paradonnées et données géométriques) afin de garantir l'utilité des résultats, l'opportunité de leur réutilisation et de leur intégration dans des stratégies de préservation numérique.

Note sur la qualité

La qualité d'un modèle 3D ne se résume pas à sa résolution ou à sa précision géométrique. L'exhaustivité des données documentaires relatives à l'objet et au processus de numérisation est tout aussi déterminante.

Dans le cas le plus simple, un objet peut être transformé en modèle 3D par une seule personne à l'aide d'un téléphone portable, puis publié en ligne, le tout en quelques heures. Cependant, le potentiel de préservation et d'utilisation à long terme de ces modèles basiques, que ce soit à des fins de recherche ou de promotion, est très limité.

En revanche, les cas plus complexes nécessitent des équipes spécialisées, capables de saisir un certain nombre d'aspects différents à l'aide de systèmes de capture haute définition, dans des environnements susceptibles d'évoluer au fil du temps, ou de suspendre toute forme de numérisation pendant une période donnée.

Bien que plus coûteux, ces projets produisent des données réellement réutilisables par une grande diversité d'acteurs (chercheurs, conservateurs, architectes, ingénieurs, créateurs, médiateurs culturels, publics scolaires et grand public) et garantit une conservation à long terme du modèle 3D.

Quelle que soit la simplicité ou la complexité d'un projet de numérisation 3D, l'objectif doit toujours être d'atteindre le niveau de qualité le plus élevé possible afin de produire un modèle qui ne se limite pas à une géométrie ou une texture, mais qui restitue également la mémoire de l'objet. Cette mémoire de l'objet recouvre à la fois ses usages, son contexte historique, ses matériaux, sa technologie de fabrication mais aussi les récits qui lui sont associés. Ces connaissances supplémentaires doivent donc être enregistrées dans les métadonnées et les paradonnées associées aux données de fichier générées dans le cadre du projet de numérisation.

- **Données de fichier** (FileData) : ensemble des fichiers constituant le modèle 3D.
- **Métadonnées** (MetaData): informations descriptives associées à l'objet patrimonial représenté.
- **Paradonnées** (ParaData) : informations relatives au processus de numérisation (méthode, opérateurs, matériel, conditions environnementales, paramètres techniques dont les logiciels utilisés). Elles permettent notamment d'effectuer des contrôles qualité.

Section 3.2 de l'étude VIGIE : L'enquête publique sur la qualité – elle apporte un éclairage précieux grâce aux retours de professionnels concernant la qualité. Accordez une attention particulière à la **section 3.2.2 – Déclarations des répondants sur la qualité**, qui propose une approche holistique de la notion de qualité et de la manière dont elle peut être prise en compte dans une grande variété d'aspects liés aux projets de numérisation 3D, notamment : la précision, la technologie, les équipements, les normes, les données, le traitement et les domaines spécifiques.

Note sur la complexité

L'étude VIGIE vous aide à évaluer et mesurer la complexité de la phase d'acquisition des données. Certains indicateurs de complexité décrits dans l'étude et les étapes ci-dessous vous paraîtront évidentes, d'autres moins. En comprenant cette complexité, vous serez en mesure de planifier et réaliser votre projet en respectant les délais et le budget prévus. Les estimations de complexité vous aideront à identifier l'équipe adéquate, l'équipement optimal et à enregistrer plus efficacement l'histoire complète de vos objets ou de votre site, à la fois visuellement en 3D et avec les données associées qui donnent du sens à votre numérisation. Sans une compréhension complète de la complexité de votre projet, vous risquez de constater que vos modèles 3D ne sont pas adaptés à votre objectif et ne servent, au mieux, que de simple référence visuelle. Une compréhension préalable de la complexité vous permet également de prendre des décisions éclairées sur ce que vous pouvez ou non réaliser dans le cadre du projet ou de réévaluer l'ampleur de votre acquisition de données, par ex. qualité vs. quantité.

Section 3 de l'étude VIGIE : Elle décrit en détail les différentes strates de complexité de la numérisation 3D. La **section suivante 3.9** et **les figures qui l'accompagnent (20-21a-i)** vous permettent de prendre en compte les facteurs pertinents qui contribuent à la complexité de votre projet de numérisation 3D. Les **figures 22 à 39** vous permettent de créer des graphiques de complexité radiale qui, une fois assemblés, offrent une indication visuelle claire de la complexité du projet, aussi bien pour vous et vos parties prenantes dans la planification et le suivi du projet, que pour les utilisateurs finaux afin d'évaluer la qualité des modèles 3D obtenus, et pour les générations futures qui bénéficieront d'une meilleure compréhension si une nouvelle numérisation devait être envisagée.

Numérisation 3D : les étapes pour réussir

Section 2.3 de l'étude VIGIE : Elle propose une vue d'ensemble de la planification idéale d'un projet de numérisation pour les biens immobiliers (**Figure 1**) et mobiliers (**Figure 2**). Que vous réalisiez la numérisation en interne ou que vous fassiez appel à des prestataires externes, le fait de renseigner les données de chacune des rubriques pertinentes des modèles de plan de projet présentés dans l'étude VIGIE vous fournira tout ce qui est nécessaire pour réussir la numérisation d'objets patrimoniaux en 2D/3D. Un plan de projet complété constitue le cadre des parodonnées du processus de numérisation.

L'étude VIGIE propose deux modèles principaux de plan de projet :

- Biens mobiliers (Patrimoine culturel mobilier, **voir section 3.5 page 44 de l'étude VIGIE 2020/654**).
- Biens immobiliers (Patrimoine culturel immobilier, selon l'UNESCO, **voir page 46 de l'étude VIGIE 2020/654**).

Chaque modèle est divisé en 4 sections identiques :

- **Planification du projet**
- **Documentation et intervention sur site**
- **Production et livraison**
- **Archivage et conservation**

La principale différence pour les biens immobiliers (monuments, ensembles de bâtiments, sites) est que l'Étude VIGIE 2020/654 les classe en « site ». Le travail sur site accroît la complexité et exige de prendre en compte des critères supplémentaires.

1. PLANIFICATION DU PROJET

La première section des modèles de plan de projet concerne les tâches administratives réparties entre gestion de projet et description du projet.

1.1. GESTION DE PROJET

GESTION DE PROJET

Nom du projet

Numéro de projet

GESTION DE PROJET

Brève description du projet

Nombre d'échantillons

Identifiants d'objets

Chef d'équipe de production

Identification de l'équipe et des rôles

Client

Évaluation des conditions de santé et de sécurité

Prestataire externe

Calendrier / Délais

Considérations juridiques

Contrats

Accès au site

Autorisations nécessaires

Accords de propriété intellectuelle

Question de droits d'auteur

Points critiques influençant la complexité :

Client et parties prenantes : tous les acteurs impliqués dans un projet de numérisation 3D attendent des résultats sous forme de livrables. Il peut s'agir du propriétaire du ou des objets, d'un financeur, d'une entité privée ou d'un service gouvernemental, d'une combinaison de ces acteurs ou encore de votre propre organisation. Des lignes directrices claires doivent être établies afin de garantir que le projet réponde aux attentes du client ou des parties prenantes, tout en assurant un haut niveau de qualité des résultats.

Identification de l'équipe et des rôles : la complexité de votre projet déterminera le niveau d'expertise nécessaire au sein de votre équipe pour le mener à bien. Cela peut entraîner une augmentation du budget. Il est probable que vous devrez revenir à cette section lorsque vous évaluerez les autres facteurs de complexité.

Prestataires : même si certains projets de numérisation 3D peuvent être réalisés en interne, la majorité des numérisations 3D de haute qualité nécessiteront l'intervention de spécialistes externes pour effectuer la numérisation ou fournir d'autres services spécialisés. Dans ce cas, et selon les procédures en vigueur au sein de l'institution (par exemple, pour les

institutions publiques, la publication d'un appel d'offres), la décision de sous-traiter peut affecter le calendrier du projet.

Si les travaux sont sous-traités, il est essentiel que l'institution détentrice du patrimoine culturel, en tant que partie prenante principale, soit en mesure d'exprimer ses attentes et ses exigences techniques afin de garantir le respect des normes essentielles et ne pas se retrouver déconnectée du projet. Portez une attention particulière à l'ensemble des spécialistes externes susceptibles d'être nécessaires, en particulier dans le cas de numérisations réalisées *in situ*. La sélection et la coordination de plusieurs prestataires augmenteront naturellement la complexité et le coût de votre projet.

Étude VIGIE figures 21e et f : Pour plus d'informations sur les grandes lignes du projet pour les prestataires et les considérations relatives à l'expertise du prestataire/membre de l'équipe.

Considérations juridiques / Contrats / Accès au site / Autorisations / Droits de propriété intellectuelle (DPI) / Questions de droits d'auteur : tous ces éléments doivent être examinés à l'avance, car ils peuvent constituer des obstacles sérieux, voire permanents, pour votre projet.

Premièrement : l'accès au site, les autorisations et les contrats peuvent conditionner la possibilité même de réaliser la numérisation.

Deuxièmement : les droits de propriété intellectuelle et le droits d'auteur peuvent empêcher votre capacité à diffuser les modèles 3D obtenus. Ce qui peut conduire à ne pas respecter les engagements pris avec vos parties prenantes (voir 1.2).

Remarque : l'accès au site et les autorisations doivent être obtenus au bon moment. Les questions de droits d'accès et de calendrier deviennent encore plus complexes lorsque vous faites appel à des intervenants externes.

Section d'étude VIGIE - Graphiques de complexité radiale pertinents :

- **Figure 27 :** Strates du paramètre de complexité lié aux exigences des parties prenantes
- **Figure 29 :** Strates du paramètre de complexité lié aux exigences du projet
- **Figure 30 :** Strates du paramètre de complexité lié à l'équipe

1.2. DESCRIPTIF DU PROJET

Tous les éléments de la description du projet sont essentiels pour les parties prenantes. Ils permettent de définir à l'avance les attentes et les délais liés aux livrables. Avec une bonne planification, l'ensemble de ces éléments devraient être réalisables et ne pas rajouter inutilement de la complexité.

DESCRIPTION DU PROJET
Description détaillée du projet
Objectifs principaux
Livrables attendus
Phases de développement / dates de finalisation

Dès les premières étapes de planification, il est primordial de définir clairement les exigences des parties prenantes. Cela inclut tous les aspects éthiques et de propriété intellectuelle (pour les parodonnées, les métadonnées et les données) avec toute partie tierce potentielle, en tenant compte de la manière dont les résultats finaux seront utilisés et/ou réutilisés après avoir été partagés.

Par exemple, si le propriétaire de l'objet est externe aux institutions (par exemple un prêteur d'objet pour un musée ou un propriétaire privé pour un monument), il est important d'établir des accords concernant la conservation et la réutilisation à long terme des modèles 3D. Le même type d'accord est nécessaire si la numérisation 3D est confiée à un prestataire externe.

En plus de clarifier ces aspects, d'autres éléments doivent être définis dès la phase de planification : le lieu et le moment prévus pour l'acquisition des données ; l'équipement, les ressources humaines et le budget nécessaires ainsi que le niveau minimal de qualité requis pour l'ensemble des données.

Figures 21a-i de VIGIE Study: ces figures fournissent des flux de travail détaillés concernant les exigences des parties prenantes, les environnements, les spécifications des objets, les cahiers des charges des prestataires, leur compétences, ainsi que les spécifications des équipements qui doivent être mentionnés dans la planification et les étapes ultérieures de votre projet.

2. DOCUMENTATION ET TRAVAIL SUR SITE

Cette section couvre trois domaines, avec une divergence selon que le projet implique un Objet (bien mobilier) ou un Site (bien immobilier). Cependant, les deux cas soulèvent des problèmes similaires.

- Analyse de l'objet / du site
- Solution technique
- Méthodes d'enregistrement 2D et 3D

2.1. ANALYSE DE L'OBJET / ANALYSE DU SITE

ANALYSE DE L'OBJET	ANALYSE DU SITE
Examen initial de l' objet	Examen initial / reconnaissance du site
Etat de conservation	Conditions du site
Obstacles potentiels	Obstacles / occultations potentielles
Contraintes physiques	Contraintes météorologiques potentielles
Enregistrement des informations spécifiques à l'objet	Enregistrement des informations spécifiques au site

Ici, l'étude VIGIE recommande d'effectuer un examen attentif du site et des objets afin d'évaluer les niveaux de complexité et d'anticiper les difficultés potentielles. En conséquence, votre projet peut nécessiter des ressources supplémentaires, des équipements spécialisés et du personnel compétent pour les utiliser, ce qui vous aidera à organiser votre équipe (**voir 1.1 Gestion de projet**).

Cette section fonctionne en parallèle avec la suivante, qui attribue des niveaux de complexité sur la base de l'analyse réalisée ici. Par conséquent, avant de finaliser l'analyse, il est essentiel de comprendre les mesures de complexité décrites dans la section suivante de l'étude (solution technique).

Contraintes météorologiques potentielles : Pour les sites, la météorologie est le facteur déterminant, imprévisible et ayant un impact direct sur la stabilité et la continuité de la numérisation. Les conditions environnementales (contrôlées ou non) qui peuvent être perçues comme des facteurs de complexité sont incluses ici. Il s'agit des conditions climatiques générales susceptibles d'interférer avec l'acquisition de données 3D (pluie, neige, vent, gel, brouillard et ensoleillement), ainsi que des paramètres environnementaux mesurables pouvant être critiques et qui doivent être indiqué dans le reporting (température, humidité, pression atmosphérique, vitesse et direction du vent, pollution de l'air, etc. **voir figures 21g et 31**

de l'étude VIGIE). Les conditions météorologiques peuvent également entraîner des retards, qui doivent être pris en compte dans la planification du projet.

Graphique de complexité radiale pertinent - Etude VIGIE :

- Figure 31 : Strates du paramètre de complexité lié à l'environnement.

Sections 2.7 à 2.9 de l'étude VIGIE : Elles fournissent des conseils sur l'acquisition en intérieur / extérieur et contrôlée / non contrôlée, y compris des conseils sur les équipements et les solutions d'atténuation (2.9), utiles pour anticiper certains défis. **Voir également la section 2.3 Planification du processus de numérisation**, qui apporte des informations sur les capacités des équipements et les possibilités d'amélioration de la numérisation. Par exemple, la figure 5 illustre l'imagerie pénétrative et les types de technologies permettant de révéler des éléments sous la surface de l'objet.

2.2. SOLUTION TECHNIQUE

SOLUTION TECHNIQUE
Description globale
Dates d'accès confirmées
Complexité de l'objet / Complexité architecturale
Complexité des surfaces
Matériaux et leurs états
Défis potentiels de numérisation

Une fois l'analyse de l'objet/du site effectuée, vous pouvez estimer la complexité de la récupération des données relatives à un objet/site en attribuant des valeurs aux graphiques radiaux (voir la remarque sur la complexité ci-dessus).

Les sections 3.6 à 3.8 et le Tableau 6 de l'Étude VIGIE donnent des informations détaillées sur la complexité des objets mobiliers. Voir également la **Figure 20 - De la complexité de l'objet à la complexité du processus**, qui met en évidence des considérations relatives à la géométrie de la structure, à la structure de la surface et aux matériaux. Un facteur supplémentaire pouvant être important pour votre projet est la surveillance de l'état structurel, mentionné en section 3.7 avec des niveaux illustrés en **figure 34**.

Graphiques radiaux de complexité pertinents (Etude VIGIE) :

- **Figure 28** : Strates du paramètre de complexité de l'objet.
- **Figure 33** : Strates du paramètre de qualité du matériau.
- **Figure 34** : Strates du paramètre de surveillance de l'état structurel.

2.3. MÉTHODES D'ACQUISITION 2D ET 3D

Cette section concerne les équipements et les niveaux de précision, de résolution et de tolérance à l'erreur convenus avec les parties prenantes.

L'évaluation de l'objet / du site combinée aux exigences et contraintes du projet, permet d'identifier la méthode d'acquisition la plus adaptée et l'équipement correspondant.

MÉTHODES D'ACQUISITION 2D ET 3D

Méthode(s) et outils proposés

INTÉGRITÉ DIMENSIONNELLE

Points de référence géométriques
topographiques existants

Niveau de précision convenu

Niveau de résolution convenu

Niveau d'erreur convenu

Méthode(s) d'acquisition 3D et outils recommandés

Le choix des méthodes d'acquisition et des outils conditionne directement la qualité de votre numérisation 3D. Chaque scénario nécessite des équipements spécialisés différents afin d'optimiser la précision et la fidélité du modèle final.

Pour les **responsables de musée** qui souhaitent numériser de petits objets dans des conditions contrôlées, la photogrammétrie constitue généralement la méthode la plus adaptée : elle offre à la fois flexibilité, efficacité et un excellent niveau de détail (**voir p. 17 de l'étude VIGIE**).

L'étude VIGIE propose une série de recommandations techniques permettant d'identifier les méthodes d'acquisition les plus pertinentes pour chaque projet. Parmi les sections les plus utiles :

Section 2.3 : Planification du processus de numérisation.

Section 2.4 : Catégories d'acquisition active et passive.

Section 2.5.1 : Systèmes d'acquisition active.

- Stations totales
- Systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS)
- Scanner laser terrestre (TLS)
- Scanner laser mobile (MLS)
- Système à lumière structuré (SLS)
- Système de triangulation optique 3D
- Systèmes hybrides
- Caméras de profondeur ou de distance

Section 2.5.2 : Systèmes d'acquisition passive.

- Photogrammétrie aérienne
- Photogrammétrie

Section 2.6 : Technologies multi-capteurs et multi-scanners

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des différentes technologies d'acquisition.

Tableau 8 : Technologies d'acquisition 3D en fonction de la complexité des objets.

Figure 26 : Aperçu des étapes de prétraitement.

Graphiques radiaux de complexité pertinents (Etude VIGIE) :

- **Figure 24** : Strates du paramètre de complexité des logiciels et des équipements.
- **Figure 25** : Strates du paramètre de complexité du pré-traitement.

Niveau convenu de précision / résolution / erreur

Les niveaux de précision géométrique sont essentiels pour les projets de numérisation 3D. Sans précision, vos modèles 3D peuvent être incomplets, manquer de détails ou présenter des distorsions qui les rendent inutilisables pour des utilisateurs professionnels. Les différents types d'équipements utilisés pour l'acquisition vos modèles 3D présentent des niveaux de précision variables et sont optimisés pour différents scénarios, qu'il s'agisse de capturer des détails extrêmement fins ou de relever de vastes sites.

Les niveaux de précision, de résolution et d'erreur doivent être convenus avec les parties prenantes dès la planification du projet.

Un équipement et des méthodes adaptés, utilisés par des opérateurs qualifiés, devraient permettre d'atteindre des niveaux élevés de précision et de résolution. Il convient toutefois de noter que des paramètres tels que les matériaux, les facteurs météorologiques et environnementaux peuvent avoir une incidence considérable sur la précision et la marge d'erreur.

L'étude VIGIE comporte plusieurs références au sujet de la précision, de la résolution et de la marge d'erreur :

Section 2.2 : Terminologie – Précision et exactitude.

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des différentes technologies d'acquisition.

Section 2.10 : Données dérivées du projet.

Section 3.2.2 : Déclarations des répondants sur la qualité.

Tableau 4 : Degrés de qualité des objets (à partir de deux études de l'UNESCO).

Section 3.4 : Facteurs limitants dans un processus de numérisation 3D.

Tableau 5A : Limites actuelles des technologies d'acquisition.

Tableau 5B : Limites actuelles de la résolution conforme à l'usage (production).

Section 3.12.1 : L'incertitude comme expression générale de la qualité dans la numérisation 3D.

Graphiques de complexité radiale pertinents (Étude VIGIE) :

- **Figure 35 :** Strates du paramètre de qualité de la géométrie 2D.
- **Figure 36 :** Strates du paramètre de qualité de la géométrie 3D.
- **Figure 37 :** Strates du paramètre de la qualité d'image (Texture).
- **Figure 38 :** Strates du paramètre de la qualité d'image (Échelle).
- **Figure 39 :** Strates du paramètre de la qualité d'image spectrale.

3. PRODUCTION ET LIVRAISON

Cette section du plan de projet regroupe les dernières considérations avant la numérisation, la phase cruciale d'enregistrement des données pendant la numérisation et les tâches de post-production nécessaires à la livraison finale.

- Production – Gestion des données
- Résultats et livrables
- Production

3.1. PRODUCTION – GESTION DES DONNÉES

Une fois la précision requise définie et la méthode de numérisation ainsi que l'équipement approprié validés, les solutions d'acquisition des données doivent être confirmées et les conventions appliquées. Lors du choix des formats de fichiers (FileData), il est essentiel de préserver l'intégrité complète de la numérisation, ainsi que la flexibilité permettant aux utilisateurs de visualiser le modèle 3D. Il est donc recommandé de prévoir à la fois des

fichiers de données non compressés, destinés aux professionnels et disponibles sur demande, et des formats de fichiers optimisés, permettant la diffusion en ligne des modèles 3D auprès du plus large public possible, sur une large gamme de plateformes et en portant une attention particulière à la compatibilité des visionneuses 3D et à la pérennité des formats.

PRODUCTION - GESTION DES DONNÉES
Solution confirmée d'acquisition des données
Considérations relatives à l'acquisition des données / Tolérances
Méthode d'acquisition des données
Conventions de dénomination des fichiers
Conventions relatives aux types de fichiers
Format de fichier non propriétaire – Contrôle / Conversion
Enregistrement des métadonnées
Enregistrement de paradonnées

La **section 4** de l'Étude VIGIE détaille les **normes et formats** des données de numérisation 3D. Cela comprend :

Section 4.1 : Types de données (Données propriétaires / Données ouvertes).

Section 4.2 : Formats de données.

Section 4.3 : Schémas de métadonnées pour les structures 3D.

Section 4.4 : Identification des lacunes, formats supplémentaires, normes.

Enregistrement des métadonnées : les modèles de métadonnées décrivent les substituts numériques. L'enregistrement des métadonnées est généralement effectué une fois le processus de numérisation terminé, mais elle peut aussi être préparée à l'avance sur un tableur séparé ou un système de gestion des actifs numérique (DAM), prêt à être importé ou lié aux modèles 3D publiés.

Les métadonnées, de nature textuelle, sont essentielles pour permettre la découverte de vos modèles via les moteurs de recherche. Que vos modèles 3D soient déposés sur de grandes plateformes agrégées ou sur de petites plateformes locales, les informations pertinentes que vous ajoutez aux métadonnées amélioreront leur découvrabilité, que ce soit par la recherche directe, les recherches filtrées ou par interrogation de données construites.

En outre, les métadonnées de préservation constituent un ensemble d'informations sémantiques fondamentales pour assurer la préservation à long terme des objets numériques. Il s'agit d'une étape cruciale pour les acteurs du patrimoine qui investissent dans la numérisation, et qui est désormais largement répandue dans la documentation des collections.

Les principaux défis des métadonnées de préservation résident dans l'élaboration d'un cadre uniforme, incluant les informations sémantiques nécessaires ; et dans le choix du format dans lequel les objets doivent être modélisés.

La **section 4.3** de l'Étude VIGIE décrit les schémas de métadonnées pour les structures 3D.

Enregistrement des parodonnées : L'importance de l'enregistrement des parodonnées, c'est-à-dire les informations relatives au processus d'acquisition des données, est largement reconnue dans la communauté scientifique. L'enregistrement des parodonnées commence dès la phase de planification du projet et se poursuit pendant l'acquisition numérique. Les parodonnées comprennent notamment le nom du membre du personnel qui a effectué la numérisation, l'équipement utilisé, l'éclairage et les conditions environnementales présentes au moment de la numérisation. Toutes les informations de complexité estimées lors de la phase de planification auront une valeur de parodonnée correspondante lors de l'acquisition numérique.

La saisie et la mise à disposition des parodonnées apportent des informations clés, parfois essentielles pour certains utilisateurs. Bien qu'il existe plusieurs initiatives et travaux visant à normaliser la description de parodonnées, le secteur du patrimoine culturel ne dispose pas encore d'un schéma formel pour les exprimer. Il apparaît également que l'enregistrement et la maintenance d'un ensemble complet de parodonnées peuvent représenter une charge importante pour certaines institutions patrimoniales, notamment en ce qui concerne la saisie administrative détaillée et les éventuelles mises à jour. Certains équipements ou outils peuvent aider en enregistrant automatiquement une partie des parodonnées, mais il est important de veiller à consigner le plus précisément possible les détails du processus de numérisation.

3.2. RÉSULTATS ET LIVRABLES

La section consacrée aux résultats et aux livrables couvre les tâches administratives. Certaines exigences doivent être convenues à l'avance,

confirmant que le projet produira un résultat spécifique. Le nombre d'éléments, dans les formats convenus, avec les données convenues. Lorsque le projet est livré, cela doit être vérifié, ainsi que la date d'achèvement, avec la validation du client.

RÉSULTATS ET LIVRABLES
Exigences relatives aux livrables (y compris le rapport / les spécifications techniques, les métadonnées et les données)
Date d'achèvement
Validation du client

3.3. PRODUCTION

La production concerne le traitement des données de fichiers qui ont été saisies et livrées par les équipes de numérisation. Les données brutes (RAW) produites lors de la numérisation doivent d'abord être archivées, puis nettoyées / pré-traitées afin de créer un modèle 3D adapté à l'usage prévu et répondant aux attentes des parties prenantes. La production nécessite des professionnels multidisciplinaires qualifiés et les niveaux de complexité du processus de production reflètent ceux de la numérisation. Les petits objets dans des environnements contrôlés sont les moins complexes, tandis que les sites complets et les structures multi-architecturales composés d'éléments intérieurs et extérieurs liés entre eux seront très complexes à traiter avec précision et nécessitent un personnel hautement qualifié.

PRODUCTION
Gestion de la production
Note d'instructions techniques et de production distribué
Méthode de production confirmée
Étapes de production confirmées et dates de jalons
Revue conditionnelle de production et validations
Validations finales
Livraison

4. ARCHIVAGE

La dernière partie du plan de projet concerne la sauvegarde et la mise en place d'un plan de gestion des archives. Il est essentiel de préserver l'intégrité de vos données tout au long du projet et de les stocker de manière pérenne une fois celui-ci terminé. Faites une estimation généreuse de l'espace de stockage dont vous pourriez avoir besoin lors de l'acquisition numérique, ainsi que des besoins en matière de post-traitement et d'archivage. Les éléments à prendre en compte sont notamment le lieu de stockage (en interne / sur le cloud), le fournisseur d'espace de stockage et le coût de la maintenance/conservation à long terme de vos données.

SAUVEGARDE ET ARCHIVAGE

Procédures de sauvegarde

Méthode d'archivage des données du projet

La numérisation 3D produit de nombreux fichiers qui occupent beaucoup d'espace de stockage numérique. L'intégrité de ces données est particulièrement menacée pendant le déroulement du projet. Il est donc nécessaire d'assurer la sauvegarde des données au fur et à mesure de leur création et de leur traitement afin d'éviter une nouvelle numérisation, qui serait coûteuse et entraînerait des retards.

Une fois le projet terminé, toutes les données doivent être archivées. Cela comprend les données de fichiers, les métadonnées, les paradosnées – fichiers de travail, modèles 3D de la plus haute qualité et données associées, modèle 3D de qualité optimisée pour une diffusion flexible. Il est fortement recommandé de conserver une copie complète sur une baie de stockage hors ligne à des fins de sauvegarde.

L'archivage des données personnelles ou privées constitue un autre sujet de préoccupation. Les personnes concernées doivent être informées et donner leur consentement signé lorsque vous stockez des données personnelles.

Publication et diffusion

Remarque sur l'usage et la réutilisation des objets du patrimoine culturel en 3D

Les objets numériques 3D offrent davantage de détails, une meilleure perception de l'échelle réelle et des possibilités d'interaction plus importantes que leurs équivalents 2D.

Cela a diverses conséquences, en particulier la possibilité d'offrir des moyens plus immersifs d'explorer le patrimoine culturel.

Les modèles 3D sont des ressources utiles pour l'apprentissage, l'éducation et la recherche; pour l'exploration, la préservation et la surveillance des sites et monuments patrimoniaux, ainsi que pour aider à la reconstruction du patrimoine.

Les modèles 3D d'objets patrimoniaux, de monuments et de sites peuvent être réutilisés dans des expériences en réalité virtuelle (VR), en réalité mixte/étendue (MR, XR) ou dans des environnements de type métavers, telles que des visites virtuelles, des formations à distance, etc. Ils peuvent aussi être intégrés à des applications de réalité augmentée (AR) destinées à l'éducation, au tourisme et aux visites de musées et de villes. De plus, les modèles 3D permettent la production d'objets imprimés en 3D (prototypage rapide), utiles pour l'implication active des enfants, la manipulation d'artefacts à des fins d'enseignement, le développement de dispositifs sensoriel pour renforcer l'accessibilité des publics empêchés, ainsi que d'autres formes de réutilisation créative.

Ces technologies permettent ainsi de créer des contenus attractifs et de proposer des visites plus engageantes dans les sites et institutions culturelles.

Un autre domaine essentiel qui bénéficie grandement de la numérisation 3D est la recherche. Cela s'applique tout particulièrement aux sites, monuments et objets patrimoniaux considérés comme à risque.

La numérisation 3D permet l'analyse détaillée et le suivi des monuments, des sites et des objets, en intérieur, en extérieur et sous l'eau ; la mesure précise et l'observation de détails fins invisibles à l'oeil nu ou en 2D ; la comparaison d'objets apparentés ; le suivi dans le temps des effets de facteurs tels que le vent, la pollution, l'érosion et la fréquentation.

Enfin, la numérisation 3D des objets est cruciale dans la lutte contre le trafic illicite de biens culturels : la présence de modèles 3D dans les bases de données d'œuvres volées utilisées par les forces de police et les douanes permet de gagner en rapidité et en efficacité dans l'identification in situ de ces objets.

Les différents acteurs et catégories d'utilisateurs des modèles 3D peuvent avoir des besoins et des exigences différents ; cependant, la condition essentielle pour permettre l'usage et la réutilisation des modèles 3D est leur découvrabilité.

Outre la publication de la collection 3D sur le site web de l'institution, des plateformes paneuropéennes comme Europeana, l'Espace européen des données pour le patrimoine culturel, le futur Cloud collaboratif européen pour le patrimoine culturel, ainsi que des e-infrastructures et référentiels dédiés aux différentes communautés de recherche, offrent des opportunités pour relier les jeux de données 3D et les partager et à un public élargi.

Publier un objet 3D en ligne : les défis techniques

Très souvent, le traitement des données 3D en ligne est effectué côté client, ce qui signifie que l'appareil utilisé par l'utilisateur joue un rôle essentiel. Il faut donc le prendre en compte lors de la conception d'expériences 3D, notamment en raison des limitations du réseau, de la mémoire de l'ordinateur ou de la capacité de traitement.

Bien que l'industrie de la 3D ait considérablement évolué, elle ne dispose pas encore d'un niveau de normalisation comparable à celui des contenus 2D. Cette absence de normes rend difficile le choix d'un format 3D universel.

Il n'existe pas d'alignement complet entre les logiciels de traitement des données 3D et les logiciels de visualisation ou de diffusion d'expériences 3D. Ainsi, certains fournisseurs de contenu utilisent un format pour l'archivage des données 3D, mais celui-ci peut ne pas être le plus adapté pour la visualisation ou la diffusion auprès du public.

Par exemple, OBJ est un format très répandu, compatible avec la plupart des logiciels 3D et bibliothèques de visualisation, mais il est peu efficace en termes de taille, ce qui en fait un mauvais choix si les données à transférer sont volumineuses. Dans ce cas, un format binaire tel que PLY peut être préférable. Certains algorithmes et formats 3D privilégient le taux de compression, et d'autres la performance.

Il s'agit généralement d'un compromis : la compression réduit la taille (utile pour le stockage et le transfert) mais augmente l'effort de traitement (compression et décompression des données). Ces problèmes ne sont pas propres à la 3D, la 2D est également concernée, mais ils sont plus marqués en 3D car les contenus tridimensionnels sont, par nature, plus complexes et nécessitent plus d'espace, ce qui a une incidence sur leur stockage, traitement et transfert sur un réseau.

Il est donc recommandé d'envisager la création du modèle 3D dans différentes versions et formats, afin de répondre aux différents besoins des utilisateurs (par exemple, les utilisateurs professionnels peuvent avoir besoin d'un modèle de résolution plus

élevée pour le téléchargement et l'exploitation hors ligne des données brutes, tandis qu'une version compressée partagée avec une visionneuse intégrable peut suffire à des fins de diffusion pour que l'utilisateur puisse profiter du contenu.

Note sur l'attribution des droits

Les objets 3D peuvent générer une situation complexe en matière de droits à appliquer au modèle une fois celui-ci publié. De manière générale, il est recommandé d'envisager une approche en libre accès afin de favoriser au maximum l'usage et la réutilisation des modèles 3D. En particulier lorsque le modèle 3D constitue une représentation fidèle d'un objet réel, il n'est pas attendu que des droits supplémentaires soient imposés (ce qui signifie que si l'objet d'origine est dans le domaine public, sa représentation numérique, qu'elle soit en 2D ou en 3D, devrait également relever du domaine public).

Cependant, certaines contraintes peuvent limiter cette approche, telles que des législations nationales, des accords contractuels ou encore les méthodes utilisées pour créer le modèle. Par exemple, de nombreux détenteurs de collections ne disposent ni de l'expertise ni de l'équipement nécessaire pour effectuer la numérisation 3D en interne ; la tâche est donc souvent sous-traitée à des prestataires chargés d'effectuer les scans et de produire les modèles.

De plus, selon les méthodes utilisées pour élaborer le modèle 3D, celui-ci peut résulter du travail de plusieurs personnes et, dans le cas où une méthode créative est utilisée, il peut relever de la propriété intellectuelle de l'artiste.

Cela peut également signifier qu'un même objet physique puisse donner lieu à plusieurs reproductions 3D avec des caractéristiques différentes et donc soumis à des droits distincts (par exemple, une numérisation fidèle de ruines archéologiques ou leur reconstruction virtuelle colorisée de manière créative).

Il est donc essentiel de clarifier les droits dans le contrat ou l'accord de prestation avec le fournisseur, afin de permettre au détenteur du contenu de conserver la plus grande liberté possible pour partager le modèle avec une licence de réutilisation.

Checklist : la numérisation 3D étape par étape

Avant de commencer : Voici les principales questions auxquelles vous devriez être en mesure de répondre pour un projet de numérisation 3D.

Élaborez un plan de projet et évaluez les niveaux de complexité en suivant les étapes suivantes.

Planification du projet

1. Identifiez ce que vous allez numériser. Pourquoi est-ce important ?
2. Quelles sont les exigences des parties prenantes ? Attentes, livrables et échéances.
3. Identifiez et constituez votre équipe – Personnel interne ? Prestataire ? Niveau d'expertise requis ?
4. Résolvez les questions juridiques et autres obstacles à la réussite du projet. Par ex. accès au site, Contrats et questions légales, Permis, Droits de propriété intellectuelle.
5. Rédigez une description détaillée du projet avec les objectifs et le calendrier de développement, en concertation avec les parties prenantes / le client.
6. Effectuez une visite du site / évaluation de l'objet – analyser les éventuels défis liés aux conditions météorologiques ou environnementales, et les mesures correctives possibles.
7. Estimez la complexité du site / des objets à l'aide des diagrammes radiaux proposés. Réévaluer les délais, l'équipe, l'expertise et les coûts en conséquence.
8. Convenez des méthodes d'acquisition (équipement) adaptées au projet et conformes au niveau de précision / résolution attendu par les parties prenantes.
9. Confirmez les solutions d'acquisition des données – Conventions de données
10. Anticiper les besoins de stockage des données pendant la phase d'acquisition numérique et de post-traitement, y compris les sauvegardes nécessaires pour en garantir l'intégrité durant cette phase à haut risque, ainsi que les coûts de conservation à long terme (stockage / mise en ligne) liés à la conservation des modèles 3D produits dans votre projet.

Documentation et travail sur site

11. Enregistrez en détail les données lors de l'acquisition numérique. Renseignez à nouveau les valeurs exactes des paramètres précédem-

ment estimés, ainsi que toute information pertinente décrivant le processus de numérisation.

12. Enregistrez les métadonnées (données descriptives de l'objet – y compris les métadonnées de préservation).
13. Évaluez / validez la précision, la résolution et les marges d'erreur des données brutes en comparaison avec les exigences des parties prenantes et l'usage prévu, avant validation finale.

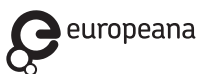
Production et livraison

14. Traitez vos données brutes pour obtenir un modèle 3D exploitable. N'oubliez pas que vous aurez probablement besoin d'un modèle 3D en haute résolution et des fichiers associés conservés hors ligne pour les professionnels (sur demande), ainsi qu'un modèle 3D optimisé et adapté à une large gamme de plates-formes (visionneuses/visualiseurs 3D).

Archivage et sauvegarde

15. Créez une sauvegarde de toutes vos données finalisées. N'oubliez pas d'obtenir les consentements nécessaires si vous stockez des données personnelles.
16. Attribuez les licences / droits d'utilisation à vos modèles 3D conformément aux autorisations des parties prenantes concernées.
17. Publiez vos modèles 3D en incluant l'ensemble des métadonnées et paradonnées.
18. Diffuser votre projet auprès de vos parties prenantes et publics cibles.

PARTENAIRES D'EUREKA3D ET D'EUREKA3D-XR



PARTENAIRE MÉDIA OFFICIEL





**Co-funded by
the European Union**

Le projet EUreka3D est cofinancé par le programme Digital Europe
de l'Union européenne, convention n. 101100685

www.eureka3d.eu



@eureka_3d



@eureka3d_



@EUreka_3D



@EUreka3D