

Préserver les formats de fichier 3D

Collection de notes d'orientation sur les types de données

Artefactual Systems et Digital Preservation Coalition



**Veille technologique de
DPC, Note d'orientation**
Juillet 2021



Digital Preservation Coalition

Informations sur la traduction française

La traduction française de cette note d'orientation a été réalisée dans le cadre des travaux de la Cellule nationale de veille sur les formats entre janvier et mars 2022. Lancée en 2019, la Cellule nationale de veille sur les formats (CNVF), sous l'égide de l'association française Aristote et de son groupe de travail sur la Pérennisation de l'information numérique (PIN), regroupe à ce jour une douzaine de partenaires. Ses principaux objectifs sont la mutualisation des activités de veille sur les formats, la sensibilisation des professionnels sur le sujet, la contribution ou l'influence sur les outils associés. Elle ambitionne d'être un interlocuteur francophone reconnu dans les travaux internationaux sur ces sujets.

Le manuel a été traduit en français par : Thomas Ledoux (Bibliothèque nationale de France) et Édouard Vasseur (École nationale des Chartes). Une première traduction automatique a été réalisée avec le logiciel DeepL puis a été revue et corrigée par le groupe de travail.

Collection de notes d'orientation sur les types de données

Chaque note d'orientation de la collection « Types de données » est conçue pour fournir une introduction à l'état actuel des connaissances de la communauté sur les types de données couramment rencontrés par ceux qui cherchent à préserver les collections numériques. La préservation numérique consiste à faire en sorte que l'information reste trouvable, utilisable et fiable à long terme. La meilleure approche pour un entrepôt numérique varie en fonction du périmètre et du contenu de ses collections, des ressources dont il dispose et des attentes de ses financeurs et utilisateurs. Il existe cependant de bonnes pratiques largement applicables qui ont été définies à la suite de nombreuses années de recherche, de mise en œuvre concrète et de recherche de consensus. Elles sont présentées ici comme un point de départ, avec des ressources complémentaires pour aller plus loin.

Cette collection de notes d'orientation sur les types de données a été rédigée par le personnel d'Artefactual Systems en collaboration avec la Digital Preservation Coalition. Ces notes ont été élaborées en collaboration avec la UK Nuclear Decommissioning Authority.

La préservation numérique est un domaine en pleine évolution qui se développe en réponse à des facteurs externes et des nouveaux défis. De nouveaux formats, normes et exemples de bonnes pratiques apparaîtront au fil du temps et les informations contenues dans ce rapport devront être mises à jour. Nous vous invitons à nous faire part de vos commentaires et de vos réactions à l'adresse suivante : info@dpconline.org.

1. Aperçu sur le type de données

Les formats de fichiers 3D contiennent des données qui représentent un espace tridimensionnel et intègrent les informations nécessaires pour restituer ces données. Les formats de fichiers 3D visent un large éventail d'applications potentielles couvrant de nombreux domaines de recherche et de mise en œuvre. Ils comprennent :

- Des données du patrimoine culturel, telles que les représentations numériques d'objets de musée scannés ;
- Des captures de nuages de points (ensembles de points de données dans un espace tridimensionnel) de bâtiments, de sites archéologiques et de structures historiques ;
- Des modèles de surface et des scènes créés pour les effets visuels, les jeux vidéo et l'animation ;
- Des modèles pour des objets imprimés en 3D ;
- Des fichiers ou systèmes de réalité virtuelle (VR) et de réalité augmentée (AR) ;
- Des œuvres d'art numériques.

Vous trouverez ci-dessous quelques-uns des principaux termes utilisés lorsqu'on parle de données 3D :

- Le maillage (mesh), ou modèle filaire (wireframe model), est un terme utilisé pour décrire l'ensemble des sommets, des arêtes et des faces qui définissent la forme d'un objet polyédrique (Wikipedia, 2021a) ;
- L'orthorectification (orthorectification) désigne le processus permettant de supprimer des informations de perspective (inclinaison de la caméra) et de terrain (relief) d'une image (OSSIM, 2014). La photographie aérienne et l'imagerie satellite provoquent de telles distorsions en raison de la courbure de la terre, des changements topographiques et du point de vue du capteur, mais l'orthorectification les corrige (Setyawan, 2019) et est utilisée au cours du processus de photogrammétrie pour passer des images 2D aux modèles 3D ;
- Les nuages de points (point clouds) sont des ensembles de données représentant des emplacements dans l'espace physique. Les points de données ont des coordonnées X, Y et Z et sont donc capables de représenter des objets 3D ;
- Les squelettes (skeletons) correspondent à un ensemble hiérarchisé d'os interconnectés qui est utilisé comme cadre pour superposer et animer la représentation de surface, ou maillage. Ils sont utilisés dans l'animation squelettique (Wikipédia, 2021c).
- Le skinning est le processus permettant de relier le maillage au squelette (CLIR, 2019, p.70).
- Les voxels¹ sont des éléments de base du volume (souvent cubique) dans un tableau tridimensionnel, l'équivalent 3D d'un pixel (CS3DP, 2020a).

Pour des informations sur le type de données CAO (conception assistée par ordinateur) en 3D, veuillez consulter la note d'orientation sur la CAO (Artefactual & DPC, 2021).

2. Les défis en matière de préservation

La préservation des données 3D pose de nombreux défis. Outre la complexité des données elles-mêmes, il existe un manque d'interopérabilité entre les différents systèmes (souvent propriétaires)

¹ NdT : terme issu de la contraction des termes « volume » et « pixel ».

utilisés pour créer et manipuler les modèles 3D. Les relations avec d'autres données, logiciels et matériels doivent également être collectées et gérées efficacement.

2.1 Complexité

Les objets 3D peuvent être très complexes et se composent souvent de plusieurs fichiers sources créés avec des logiciels et du matériel propriétaires. Mashal Ahmad et Kathryn Cassidy affirment que les efforts de préservation des données 3D sont « encore compliqués par le fait que pour reproduire la scène ou le modèle exacts, nous devons souvent préserver un grand nombre de métadonnées supplémentaires liées aux matériels, scanners, outils et équipements utilisés pour capturer les données » (Ahmad et Cassidy, 2020, paragraphe 6).

2.2 Manque d'interopérabilité

Il existe d'innombrables plateformes matérielles et logicielles 3D, ainsi que différents formats et normes de données. Parmi les plateformes les plus courantes, citons :

- After Effects, Blender (.blend).
- Cinema 4D (.c4d).
- Lightwave (.lwo).
- Faro Scene (.cpe, .e57, .vrmf, .dxf, .iges, .fls, .pts, .ptx, .pod).
- 3ds Max (.max).
- Maya (.ma, .mb).
- Revit (.rfa, .rvt).
- Rhinoceros 3D (.3dm).
- Skanect, Sketchup (.skp).
- Unreal Engine et Unity (jeux).
- V-Ray (rendu architectural).

De nombreuses offres sont propriétaires, ce qui limite leur interopérabilité avec d'autres environnements techniques. Dans le cas des œuvres d'art numériques, les logiciels propriétaires, les logiciels personnalisés et les versions spécifiques du matériel peuvent rendre difficile la mise à jour des œuvres en vue de leur exposition. Le Centre for Digital Built Britain de l'université de Cambridge a publié en 2020 un rapport appelant au développement de formats de modèles 3D ouverts afin d'accroître l'opérabilité, ainsi qu'à une plus grande normalisation et à de meilleures possibilités de formation pour les spécialistes de la préservation.

2.3 Dépendances externes

Les systèmes ou processus logiciels 3D peuvent être autonomes ou liés à des ressources externes. Les dépendances peuvent inclure des URI qui ne sont pas stables, ou des références à d'autres logiciels ou systèmes qui sont nécessaires pour accéder aux données à l'avenir. Parmi ces ressources externes, on peut citer les SIG, les moteurs de jeu (par exemple, Unity, Unreal Engine) ou des équipements tels que les casques VR. Les informations sur les dépendances peuvent être une condition préalable nécessaire pour donner accès à un modèle 3D, et peuvent rendre possibles les futures migrations de format et les stratégies d'accès par émulation.

2.4 Problématiques relatives au patrimoine et à la propriété

Les institutions patrimoniales, en particulier les musées, détiennent souvent des objets dont la collecte et l'utilisation ont une histoire complexe. Au cours des dernières décennies, cette situation a donné lieu à des initiatives visant à rapatrier ces objets dans les communautés qui les avaient créés ou possédés à l'origine. Dans de tels cas, la création de scans laser 3D des objets est un moyen de garantir que les mécènes des musées et le grand public puissent continuer à avoir accès aux objets. Cependant, la volonté et la capacité de rendre ces substituts numériques largement disponibles peuvent entrer en conflit avec les principes et les protocoles internes aux institutions entourant la visualisation et l'utilisation des objets (Christen et Pugh, 2011, p. 190).

3. Formats de fichiers

Il n'existe pas un format unique parfait pour la préservation et l'utilisation future des données 3D. Les décisions prises concernant les formats de fichiers doivent dépendre des caractéristiques et des fonctionnalités à préserver et des cas d'utilisation future à prendre en charge. Le tableau ci-dessous énumère les formats ouverts ou indépendants des éditeurs, compatibles avec plusieurs systèmes logiciels. Ces formats ouverts peuvent être considérés comme des formats de préservation acceptables pour différents cas d'utilisation de la 3D. La compatibilité avec plusieurs systèmes logiciels fait également de ces formats de fichiers des formats d'accès potentiels.

Sachez qu'il n'y a pas à ce stade de consensus sur les formats de préservation des données 3D. Par exemple, la Bibliothèque du Congrès ne liste aucun format 3D comme format de préservation « préféré ». Notez que le format le plus approprié pour préserver les caractéristiques et les fonctionnalités importantes d'un fichier peut être le format original dans lequel il a été créé. Il est recommandé d'effectuer des recherches et des analyses approfondies avant de migrer des fichiers vers un nouveau format.

Pour plus d'informations sur les formats de fichiers, Marxent Labs fournit un aperçu complet des formats 3D les plus récents et les plus populaires, y compris une liste exhaustive des formats actuels, dans *Essential guide to 3D file formats* (Schechter, 2020). Cette source donne également des explications sur le fonctionnement de ces formats et des informations sur d'autres fondamentaux de la 3D.

Format de fichier	Extensions	Brève description
<i>ASTM E57 3D file format, Version 1.0</i>	.e57	E57 est un format non propriétaire avec une spécification publiée (ASTM, 2019), utilisé comme format de stockage pour les nuages de points, ainsi que pour les images et les métadonnées produites par les scanners laser et autres systèmes d'imagerie 3D. E57 est partiellement basé sur XML et peut être étendu pour prendre en charge de nouveaux environnements matériels ou logiciels (libE57, 2009). Le portail Open Heritage 3D, qui est géré par un consortium international de partenaires et de contributeurs, offre un

Format de fichier	Extensions	Brève description
		accès en ligne à des objets 3D au format E57 (Open Heritage 3D, 2019).
<i>COLLADA</i>	.dae	COLLADA (COLLABorative Design Activity), également appelé DAE, est un format de fichier 3D basé sur XML utilisé dans des applications interactives (par exemple, les moteurs d'animation et de jeu) (CLIR, 2019, p. 126). Ce format ouvert est normalisé par l'ISO (ISO, 2019). COLLADA prend en charge certains champs de métadonnées, peut contenir des informations d'échelle et peut être lu et exporté par un certain nombre d'applications 3D (CLIR, 2019, p. 126).
<i>Extensible 3D (X3D)</i>	.x3d, .x3dv, .x3db, .x3dz, .x3dbz, .x3dvz	Extensible 3D (X3D) est une famille de formats de fichiers dérivée du langage de modélisation de la réalité virtuelle (VRML). X3D est développé et maintenu par le consortium Web 3D, qui le décrit comme « une norme ouverte libre de droits pour la publication, la visualisation, l'impression et l'archivage de modèles 3D interactifs sur le Web » (Web 3D Consortium, 2020). Les fichiers X3D comprennent une architecture d'exécution associée permettant de communiquer les scènes et les objets. La National Archives and Records Administration (NARA, 2020) et la Bibliothèque du Congrès (LC, 2020-2021) le considèrent comme un format de préservation acceptable.
<i>Hierarchical Data Format</i>	.hdf, .h4, .hdf4, .he2, .h5, .hdf5, .he5	La famille des formats de données hiérarchiques est une série de formats de fichiers développés par le National Center for Supercomputing Applications de l'Université de l'Illinois pour organiser et stocker de grands ensembles de données, y compris des ensembles de données 3D. Les formats sont maintenus par une organisation à but non lucratif appelée HDF Group, qui développe des outils et des bibliothèques gratuits et open-source pour promouvoir leur utilisation et leur interopérabilité (HDF Group, 2020).
<i>Polygon File Format</i>	.ply	Le Polygon File Format (PLY) a été développé par l'Université de Stanford en 1994 et est utilisé depuis lors. Il est parfois aussi appelé le Stanford Triangle Format, ou Stanford PLY. Le PLY décrit les objets sous forme de modèles polygonaux ou de nuages de points. Le Recommended formats statement de la Bibliothèque du Congrès (2020-2021) considère les fichiers PLY comme un format acceptable pour les objets 3D numérisés.

Format de fichier	Extensions	Brève description
<i>STereoLithography</i>	.stl	Le format de fichier STereoLithography (STL) est utilisé pour décrire la surface d'un objet, les données représentant des objets prenant la forme de mailles triangulaires. STL est un format propriétaire ouvertement documenté. Son concepteur, 3D Systems, encourage son utilisation sur de multiples plateformes (LC, 2021d). STL est une norme industrielle de facto pour l'impression 3D et est largement utilisé comme format d'export dans les logiciels de modélisation 3D. La Bibliothèque du Congrès (2020-2021) considère les fichiers STL comme un format acceptable pour les objets 3D numérisés.
<i>Wavefront OBJ</i>	.obj	OBJ est un format de fichier développé par Wavefront Technologies et utilisé par de multiples logiciels de technologie 3D pour représenter la géométrie 3D sous forme de texte ASCII (FileFormat.Info, 2020). C'est un format populaire pour le stockage des données de maillage 3D, mais il ne prend pas en charge les squelettes, le skinning ou les données d'animation (CLIR, 2019, p. 126). Ce format est utilisé pour le stockage et l'échange entre les systèmes. Le Recommended formats statement de la Bibliothèque du Congrès (2020-2021) considère les fichiers OBJ comme un format acceptable pour les objets 3D numérisés.

4. Normes relatives aux métadonnées

- **buildm** est une norme pour les métadonnées descriptives basée sur les objets de données d'architecture (Lindlar, Panitz et Gadiraju, 2015). Ce modèle établit une distinction entre l'objet physique et l'objet numérique pour désambiguïser les nombreux champs facultatifs. Ainsi, l'objet physique nécessite des champs pour indiquer la latitude et la longitude, tandis que l'objet numérique requiert des informations sur le créateur de l'objet et le nom du fichier.
- **E57m** est une norme de métadonnées techniques pour le format de fichier e57 disponible via les bibliothèques de mise en œuvre de référence libE57 (Lindlar, et al., 2015). Elle décrit les numérisations 3D et/ou les images 2D contenues dans les fichiers e57.

5. Initiatives en matière de normes

- **Normes communautaires pour la préservation des données 3D** (Community Standards for 3D data preservation – CS3DP). CS3DP est une communauté inclusive et interdisciplinaire axée sur le développement de pratiques pour la préservation des données numériques en 3D (CS3DP, 2020a). Ce groupe est ouvert à tous et dispose de plusieurs groupes de travail sur les thèmes de l'accès, des bonnes pratiques, de la gestion, des métadonnées et des

droits. Vous trouverez de plus amples informations sur les travaux du CS3DP sur son wiki (CS3DP, 2019).

- **Connaissances architecturales durables** (Durable Architectural Knowledge – DURAARK). Le projet DURAARK, financé par l'UE et lancé en 2013, a été conçu pour développer des normes et des outils pour les documents architecturaux, en mettant l'accent sur l'utilisation de métadonnées normalisées et la prise en charge de modèles 3D dans des systèmes de préservation basés sur l'OAIS (DURAARK, n.d. ; Lindlar et Saemann, 2014). Le projet dispose d'une organisation GitHub avec des dépôts pour une « plateforme orientée [s]ervice pour la préservation à long terme des connaissances architecturales, basée sur e57 (pointcloud) [sic] et les fichiers IFC » (GitHub, 2020).
- **Interopérabilité internationale des images** (International Image Interoperability – IIIF). La communauté IIIF dispose d'un groupe de travail dédié à l'exploration des moyens permettant de visualiser, de rechercher et d'annoter des objets 3D à l'aide du cadre IIIF. Le groupe « offre aux institutions intéressées par l'interopérabilité la possibilité de coordonner des stratégies et de faciliter les conversations sur les normes ouvertes qui prennent en charge les cas d'utilisation de la 3D » (groupe communautaire IIIF 3D, s.d., paragraphe 1).

6. Conseils pour les producteurs

6.1 Avant la production

- Les producteurs devraient travailler avec des records managers ou des archivistes dès le début de toute activité impliquant la production de fichiers 3D. Il sera ainsi plus facile de déterminer les types de contenus à préserver, tels que les produits finaux, les fichiers de travail associés, les versions de travail des produits finaux, les chutes ou les rendus partiels tels que les textures. Cela aidera également à identifier les bonnes pratiques en matière de documentation, de création de métadonnées et de durée de conservation qui facilitent les objectifs de préservation et d'accès à long terme.

6.2 Production de formats 3D

- Les outils logiciels et les formats de modélisation 3D ont tendance à évoluer rapidement. Il convient d'encourager les producteurs à créer ou à exporter leurs données dans des formats normalisés et indépendants vis-à-vis des fournisseurs, dans la mesure du possible, afin d'atténuer le risque d'obsolescence des formats ;
- La collecte d'informations sur le processus de production est importante, en particulier lors de la production de contenu dans des formats propriétaires ou de niche. Il s'agit notamment d'informations telles que la marque et le modèle du scanner, l'application de production et le format de fichier d'origine, ainsi que des informations sur les convertisseurs qui envoient les données aux paquets de stockage (Lindlar, 2020) ;
- Examinez et testez la production après l'avoir téléchargée sur différentes plateformes d'expérimentation telles que Sketchfab, 3DHop et Smithsonian Voyager, pour vous assurer que les fichiers peuvent être rendus dans différents environnements ;

- Si vous travaillez avec des fournisseurs externes, veillez à ce qu'il n'y ait pas de problèmes de droits d'auteur ou d'autres problèmes de propriété intellectuelle qui pourraient limiter la préservation des objets 3D ;
- Pour ceux qui produisent des scans laser 3D d'objets d'architecture ou du patrimoine culturel, suivez les bonnes pratiques et les normes établies par la communauté du patrimoine culturel. 3D laser scanning for heritage: advice and guidance on the use of laser scanning in archaeology and architecture (Historic England, 2018) est une ressource utile sur ce sujet.

6.3 Préparation du transfert aux archives

- Gérez bien les références externes vers les fichiers : préférez les chemins relatifs aux chemins absolus, et liez les références externes avant de transférer les fichiers vers un entrepôt numérique lorsque cela est possible ;
- Préparez une documentation au moyen de fichiers vidéo et de captures d'écran représentant le projet, et transférez-les aux archives avec les objets 3D eux-mêmes.

7. Conseils pour les archivistes

7.1 Conseils généraux

Les ressources suivantes fournissent des conseils sur la préservation et l'accès aux objets 3D :

- Pour les technologies VR et AR, le CLIR (2019) a produit un livre, 3D/VR in the Academic Library, pour accompagner les processus de travail sur le sujet ;
- L'Institut néerlandais du son et de la vision a également produit un rapport Preserving the emerging: virtual reality and 360-degree video (Cranmer, 2017) qui couvre les problèmes et les stratégies de préservation potentielles pour la VR ;
- La conférence de la Bibliothèque du Congrès (2018), Born to Be 3D, s'est concentrée sur la gestion numérique des objets 3D. Les actes de la conférence sont disponibles en ligne ;
- CS3DP (2020b) dispose d'une page dédiée à d'autres ressources qui peut guider les archivistes vers les principes associés à la préservation des objets 3D, notamment dans le domaine des objets du patrimoine culturel ;
- La Wayne State University (2015) héberge une bibliographie annotée sur la préservation des jeux vidéo ;
- L'Institut néerlandais du son et de la vision a publié un rapport sur la préservation des jeux vidéo, Browsing History: Archiving Video Game Context (Berendse, 2021), qui se concentre sur la collecte du contexte et fournit un flux de travail utile pour ce processus ;
- Le rapport de veille technologique DPC Preserving 3D Design and Construction Records comporte une section sur le dialogue avec le donateur et les accords avec ce dernier (Leventhal & Thompson, à paraître).

7.2 Collecte et évaluation

- La préservation et l'émulation des logiciels peuvent faciliter l'évaluation et l'accès à long terme à des formats 3D fortement dépendants des logiciels (Work, 2019) ;

- Travaillez en étroite collaboration avec les producteurs et les records managers dès le début du cycle de vie des objets 3D. Cela permettra de s'assurer que les objets sont transférés dans des formats durables et indépendants vis-à-vis des fournisseurs, dans la mesure du possible, et que les métadonnées et la documentation associées sont suffisantes pour mettre en œuvre les efforts de préservation ;
- Clarifiez et documentez toute contrainte réglementaire ou culturelle sur la préservation et la diffusion des fonds 3D avant de vous engager à préserver des objets 3D ;
- Les représentations de moindre fidélité, telles que les survols, ou même les enregistrements vidéo d'objets 3D visualisés, peuvent être utiles en tant qu'objets plus faciles à préserver et à restituer. Leur collecte peut fournir des approches supplémentaires et alternatives à la préservation d'originaux complexes, bien qu'avec la perte d'une grande partie des fonctionnalités ;
- Examinez et testez les objets 3D nouvellement collectés sur différentes plateformes d'expérimentation telles que Sketchfab, 3DHop et Smithsonian Voyager, afin de vous assurer que les fichiers peuvent être restitués dans différents environnements.

7.3 Caractérisation

La caractérisation peut être utile pour identifier les formats de fichiers, extraire les métadonnées, identifier les contenus cassés ou cryptés, ou vérifier la conformité aux profils ou aux normes. La prise en charge et l'efficacité des outils peuvent varier considérablement selon les différents formats de fichiers.

- Identifiez les formats de fichiers à l'aide d'un outil tel que DROID, FIDO ou Siegfried qui utilise le registre des formats de fichiers PRONOM ;
- Sachez que tous les formats 3D ne seront pas identifiables s'il n'y a pas d'entrées correspondantes dans PRONOM ;
- À l'heure actuelle, il n'existe pas d'outils de validation disponibles pour les formats de fichiers 3D.

8. Références

- Ahmad, M., and Cassidy, K. (18 September 2020). *Experiences Preserving 3D data at the Digital Repository of Ireland*. Disponible à l'adresse suivante :
<https://web.archive.org/web/20201030140804/https://www.dpconline.org/blog/experiences-preserving-3d-data-dri>
- Artefactual & DPC (2021) *Preserving CAD*. Disponible à l'adresse suivante :
<http://doi.org/10.7207/twgn21-15>
- Berendse, Z. (2021) *Browsing History: Archiving Video Game Context*. Disponible à l'adresse suivante :
<https://web.archive.org/web/20210218115722/https://publications.beeldengeluid.nl/pub/1860>
- buildingSMART (2021) *openBIM*. Disponible à l'adresse suivante :
<https://web.archive.org/web/20201121223837/https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/>
- Centre for Digital Built Britain (2020) *BIM Interoperability Expert Group Report*. Disponible à l'adresse suivante :
https://web.archive.org/web/20210129210417/https://www.cdbb.cam.ac.uk/files/cih_bim_interoperability_expert_group_report_april_2020_final_wm_removed.pdf
- Christen, K. and Pugh, M (2011) 'Opening archives: respectful repatriation', *American Archivist*, vol 74, issue 1, p. 190, <https://meridian.allenpress.com/american-archivist/article/74/1/185/24254/Opening-Archives-Respectful-Repatriation> [accessed 16 February 2021]
- Council on Library and Information Resources [CLIR] (2019) *3D/VR in the Academic Library*. Disponible à l'adresse suivante :
https://web.archive.org/web/20210129212416/https://projects.iq.harvard.edu/files/buildingtomorrow/files/3d_vr_in_the_academic_library.pdf
- Cranmer, C. (2017) *Preserving the emerging: virtual reality and 360-degree video, an internship research report*. Netherlands Institute for Sound and Vision. Disponible à l'adresse suivante :
<https://web.archive.org/web/20210218115345/https://publications.beeldengeluid.nl/pub/584>
- CS3DP (2019) *CS3DP (Community Standards for 3D Data Preservation)*. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20201125053633/https://osf.io/ewt2h/>
- CS3DP (2020a) *CS3DP* Disponible à l'adresse suivante :
<https://web.archive.org/web/20210129211247/https://cs3dp.org/>
- CS3DP (2020b) *Further Reading*. Disponible à l'adresse suivante :
<https://web.archive.org/web/20201123213518/https://cs3dp.org/further-reading/>
- GitHub (2020) *DURAARK github repository*. Disponible à l'adresse suivante :
<https://web.archive.org/web/20200930001927/https://github.com/DURAARK>
- Historic England (2018) *3D laser scanning for heritage: advice and guidance on the use of laser scanning in archaeology and architecture*. Disponible à l'adresse suivante :
<https://web.archive.org/web/20181229142525/https://historicengland.org.uk/images-books/publications/3d-laser-scanning-heritage/heag155-3d-laser-scanning/>
- IIIF (2021) *IIIF 3D Community Group*. Disponible à l'adresse suivante :
<https://web.archive.org/web/20201218154620/https://iiif.io/community/groups/3d/>

ISO (2019) ISO/PAS 17506:2012 *Industrial automation systems and integration — COLLADA digital asset schema specification for 3D visualization of industrial data*. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20201022132025/https://www.iso.org/standard/59902.html>

Leventhal, A and Thompson, J (forthcoming) *Preserving 3D Design and Construction Records*. DPC Technology Watch Report

Library of Congress [LC] (2018) *Born to Be 3D: Digital Stewardship of Intrinsic 3D Data*. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20201108073039/https://www.loc.gov/preservation/digital/meetings/b2b3d/b2b3d2018.html>

Library of Congress (2021a). *Industry Foundation Classes (IFC), Clear Text Family*. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20201024182048/https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000447.shtml>

Library of Congress (2021b) *Polygon File Format (PLY) Family*. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20201022054616/https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000501.shtml>

Library of Congress (2021c) *Reflectance Transformation Imaging (RTI) File Format*. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20201024153520/https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000486.shtml>

Library of Congress (2021d) *STL (STereoLithography) File Format Family*. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20201103214753/https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000504.shtml>

Library of Congress (2021e) *Extensible 3D (X3D) File Format Family*. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20201024001754/https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000490.shtml>

Library of Congress (2020-2021) *Recommended Formats Statement: VIII. Design and 3D*. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20201121155059/https://www.loc.gov/preservation/resources/rfs/design3D.html>

Lindlar, M. (2020) *A practical case study about metadata, Leibniz Information Centre for Science and Technology*. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20201009112127/https://www.dpconline.org/docs/miscellaneous/events/2020-events/2269-mickylindlar-metadata-3d/file>

Lindlar, M., Panitz, M., and Gadiraju, U. (2015) *Ingest and Storage of 3D Objects in a Digital Preservation System*. Disponible à l'adresse suivante : <https://zenodo.org/record/1115512>

Lindlar, M. and Saemann, H. (2014) *The DURAARK Project— long-term preservation of architectural 3D-Data*. Disponible à l'adresse suivante : <https://doi.org/10.5281/zenodo.1326652>

Moore, F. (Centre for Digital Built Britain) (2020) *Information Management, interoperability and the Construction Industry: it's importance and lessons learnt*. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20201009112111/https://www.dpconline.org/docs/miscellaneous/events/2020-events/2267-fionamoore-dpc-cdbb-april-2020/file>

Open Heritage 3D (2019) *How to use the Open Heritage 3D Portal*. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20210212181121/https://openheritage3d.org/news.php?p=how-to-use-the-open-heritage-portal>

OSSIM (2014) *Orthorectification*. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20201112023028/https://trac.osgeo.org/ossim/wiki/orthorectification>

Setyawan, E. (2019) *Orthorectification in a Nutshell*. *Intermap*. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20201125073901/https://www.intermap.com/blog/orthorectification-in-a-nutshell>

Schechter, S. (2020) *Essential Guide to 3D File Formats*. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20201027212123/https://www.marxentlabs.com/3d-file-formats/>

Wayne State University (2015) *Digital Preservation of Video Games*. Disponible à l'adresse suivante : https://web.archive.org/web/20210203201204/http://wiki.slis.wayne.edu/index.php/Digital_Preservation_of_Video_Games

Web3D Consortium, *About Web3D*, 2020. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20201031193052/https://www.web3d.org/about>

Wikipedia (2021a) *Polygon mesh*. Disponible à l'adresse suivante : https://web.archive.org/web/20210119011229/https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_mesh

Wikipedia (2021b) *Point Cloud*. Disponible à l'adresse suivante : https://web.archive.org/web/20201114000255/https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud

Wikipedia (2021c) *Skeletal animation*. Disponible à l'adresse suivante : https://web.archive.org/web/20210117114701/https://en.wikipedia.org/wiki/Skeletal_animation

Work, L. (2019, September 1). FCoP 2020 *Cohort Reflections: University of Virginia. Software Preservation Network*. Disponible à l'adresse suivante : <https://web.archive.org/web/20210126184535/https://www.softwarepreservationnetwork.org/fcop-2019-cohort-reflections-university-of-virginia/>