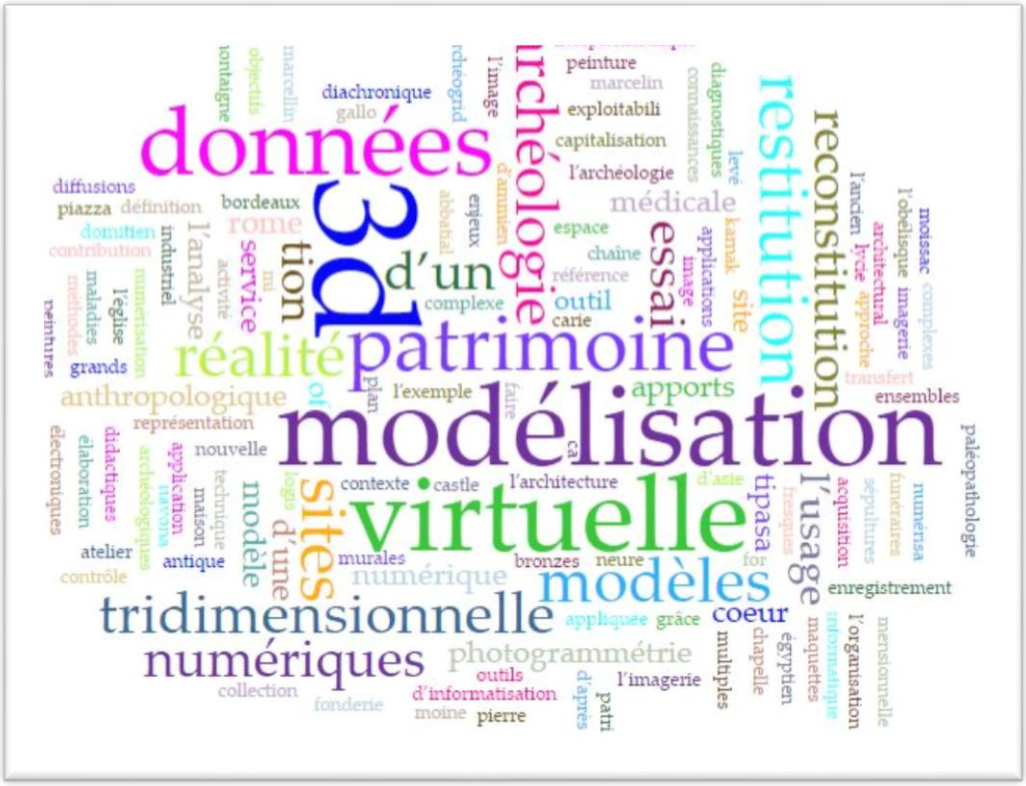
Huma-Num CONSORTIUM 3D

# RECOMMANDATIONS DU CONSORTIUM 3D SHS

# VOCABULAIRE 3D

## LEXIQUE POUR LES SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

## ÉDITION 2019




*Cet ouvrage est distribué sous la licence Creatives Commons CC BY NC ND*

*Attribution - Pas d'utilisation Commerciale- Pas de modification 4.0 International*

## VERSION 2019

Xavier Granier (Institut d'Optique Graduate School, LP2N – UMR 5298)

Laurent Bergerot (CNRS, MAP - UMR 3495)

Mehdi Chayani (CNRS, Archeovision – UMS 3657)

Bruno Dutailly (CNRS, Archeovision – UMS 3657)

Pascal Mora (ADERA, Archeovision production)

Jean-Louis Kerouanton (Université de Nantes 1, EPOTEC - CFV EA 1161)

François Daniel (ADERA, Archeovision Production)

Jean-Baptiste Barreau (CNRS, CReAAH - CNPAO)

## VERSION 2018

Jean-François Bernard (CNRS, Archéovision-UMS 3657)

Hervé Bohbot (CNRS, ASM UMR 5140)

Philippe Fleury (UFR HSS - CIREVE)

Olivier Marlet (MSH Val de Loire – CNRS, CITERES USR 3501 UMR 73

# TABLE DES MATIERES

1. Index _____ 3
2. Préambule _____ 5
3. Les notions 3D fondamentales _____ 8
3.1 Géométrie _____ 8
3.2 Apparence & Couleur _____ 9
3.3 Modèle et Scène 3D _____ 11
4. La qualité des donnees _____ 12
5. Objectifs _____ 15
6. Données brutes - Acquisition : A0 _____ 16
6.1 Acquisition instrumentale _____ 16
6.2 Documentation et sources d'information _____ 17
7. Données pré-traitées / Prétraitement : la V0 _____ 19
8. Hypothèses / Restitution : Passage de V0 à V2 _____ 21
9. Livrables _____ 23
10. Bibliographie _____ 25

Index

acquisition, 16
albédo, 9
animation, 22
apparence, 9
biais de mesure, 12
BRDF, 10
bruit de mesure, 12
captation sonore, 17
cinématique, 22
colorimétrie, 10
comblement, 20
communication, 15
complétion, 20
consolidation, 5, 19
couleur, 9
couleur par sommet, 9
décimation, 24
définition, 14
diagramme goniométrique, 11
données aberrantes, 12, 19
données brutes, 16
données non pertinentes, 12, 19
Données pré-traitées, 19
données redondantes, 12, 19
enregistrement, 15
enrichissement sémantique, 21
erreur de mesure, 13
géométrie, 8
géoréférencement, 19
HDR, 14
iconographie, 18
lambertienne, 11
lasergrammétrie, 16
lumière, 10
lumière directionnelle, 11
lumière ponctuelle, 11
lumière surfacique, 11
maillage, 8
maquette interactive, 5, 23
métadonnées, 5, 19, 22
modèle 3D, 11
modèle numérique, 11
modèle virtuel, 11
nettoyage, 5, 19
normale, 9
nuage de points, 8
ortho-image, 24
orthophotographie, 15, 24
paradonnées, 5, 22
photogrammétrie, 16
point 3D, 8
précision, 13
prétraitement, 19
réalité augmentée, 23
réalité mixte, 23
réalité virtuelle, 5, 23
réflectance, 10
relevé, 16
rendu précalculé, 5, 23
résolution, 13
restitution, 5, 21
RTI, 17
scène 3D, 11
shader, 10
simulation, 22
sommet, 8
sources orales, 18
stéréoscopie, 23
structuration du modèle 3D, 21
texel, 10
textes, 18
texture, 10
tomographie, 16, 17
topographie, 16
traitement, 19, 21
valorisation, 15
volume, 9

# 1. PREAMBULE

*Ce document est le résultat d'un effort continu pour permettre aux acteurs des SHS et ceux de la 3D d'interagir autour d'un vocabulaire commun. Ce lexique a pour but d'accompagner les différents livrables du consortium 3D. Il a aussi vocation à terme à aider à l'enrichissement de TaDiRAH[1], « Taxonomy of Digital Research Activities in the Humanities » du consortium européen DARIAH[2]. Ce processus continu est illustré par le fait que ce document en est à sa deuxième version [1].*

*Cet effort pour définir des concepts communs se base sur deux outils. Le premier est le graphe séquentiel des données 3D (voir* Figure 2*). Il présente de manière simplifiée les étapes du processus de production. Le système du graphe a été défini afin de suivre un cheminement logique avec notamment l'utilisation de boucles pour exprimer l'aspect récursif du travail sur des données, notamment lors de l'étape d'hypothèses et de restitution. L'archivage, qui fait l'objet du livre blanc dédié « Archivage pérenne des données numériques 3D pour les sciences humaines et sociales », est présent à tous les niveaux.*

*Le lexique que nous vous proposons a été construit avec pour objectif de clarifier et préciser, et non pas de redéfinir entièrement les notions liées au patrimoine numérique. Des définitions existantes ont ainsi été adaptées à la pratique de la 3D en SHS, et plus spécifiquement au patrimoine. Il ne s'agissait pas de refaire un dictionnaire complet, mais de se focaliser sur quelques définitions essentielles, catégorisées par étapes et sous-étapes, en accord avec le graphe séquentiel.*

*Des questionnements se font jour lors du travail sur un tel document. Il faut par exemple rappeler ce que sont les objectifs de la recherche en SHS en précisant notamment les notions d'enregistrement et de l'étude scientifique, telles que comprises et entendues dans la numérisation du patrimoine. Il faut également essayer de lever des ambiguïtés sémantiques comme par exemple, celle entre réalité virtuelle et 3D, avec la distinction entre maquette interactive et rendu précalculé. Nous voulions également distinguer les étapes du processus de création d'un modèle en définissant les termes consolidation et nettoyage. La nécessité est apparue de clarifier des termes de plus en plus utilisés dans nos domaines comme métadonnées ou paradonnées, afin d'éviter leur utilisation dans des sens détournés ou mal compris. Enfin nous avons tenté de préciser d'autres termes et d'adapter des définitions au monde de la 3D en SHS, telle que la notion de restitution.*

[1] TaDiRAH : http://tadirah.dariah.eu/vocab/index.php
[2] Dariah : https://www.dariah.eu/

## Pratiques 3D en SHS

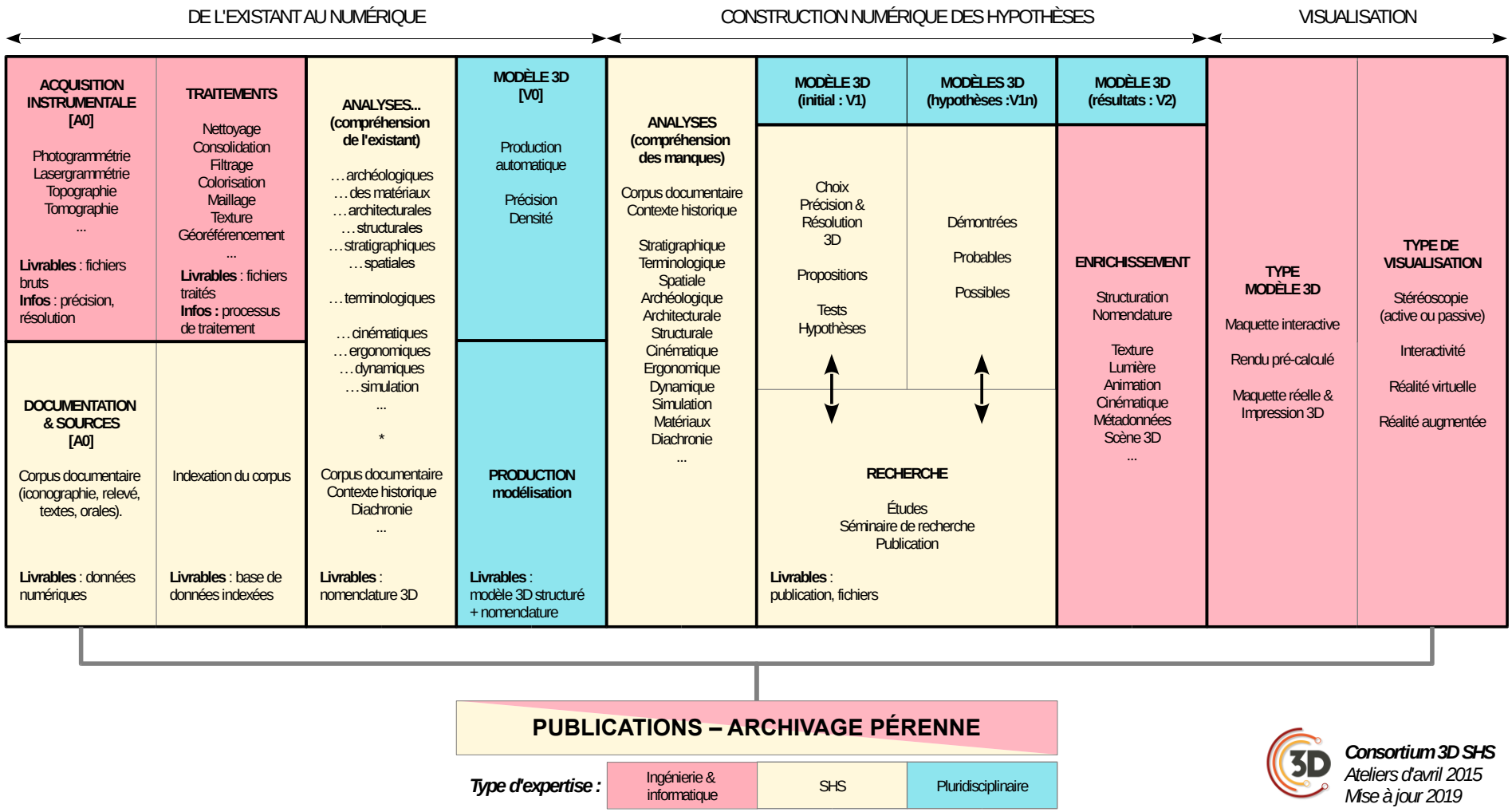
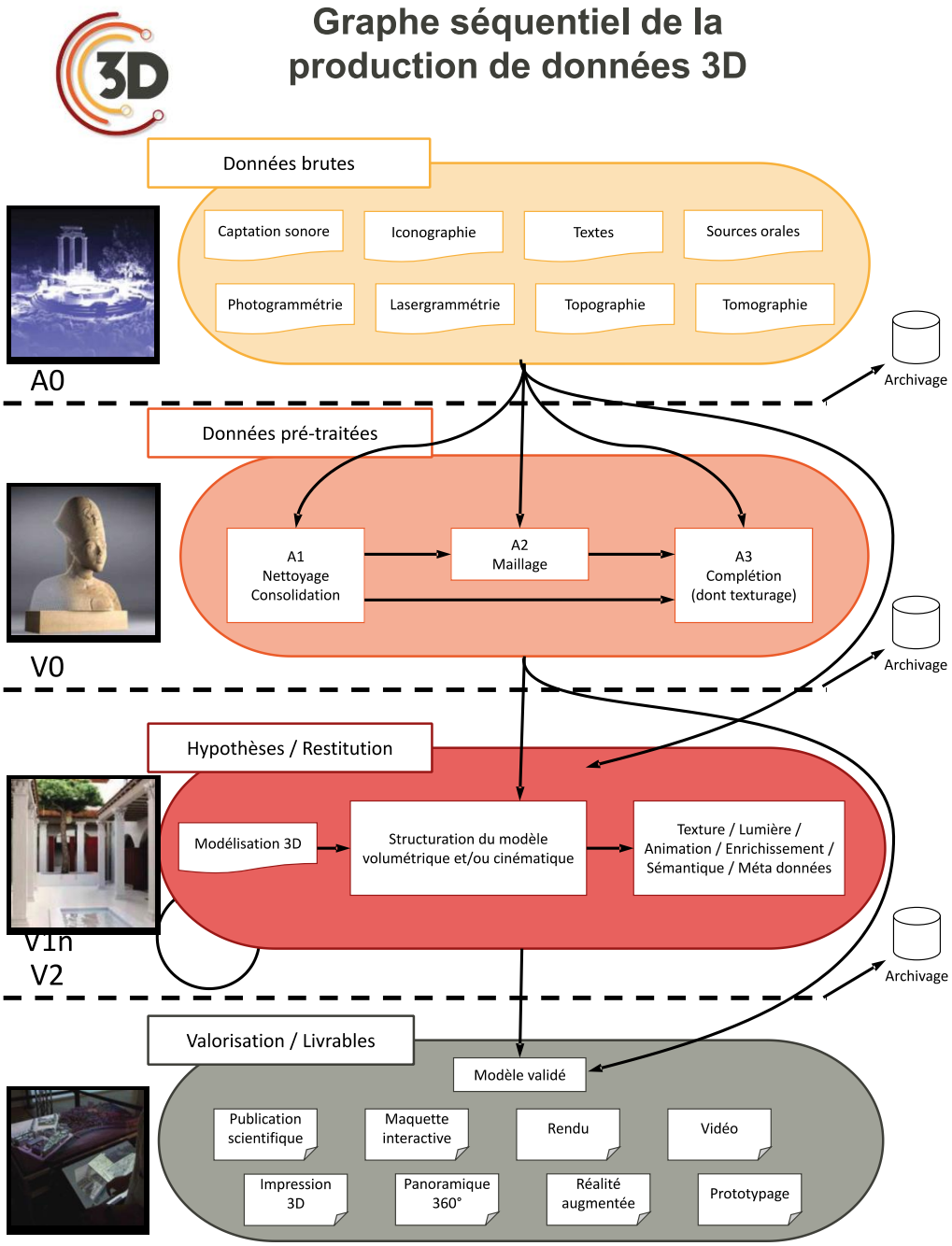



*Figure 1 – Tableau des pratiques 3D en SHS*




*Les images d'illustrations sont, de haut en bas : Nuage de points du Tholos de Delphes (MAP – David LO BUGLIO) ; Numérisation avec texture du buste d'Akhenaton du Louvre (Archeovision production) ; Restitution 3D de la Rome Antique (CIREVE) ; Disposition muséographique de mise en valeur de la maquette du port de Nantes réalisé pour l'exposition universelle 1900 (musée d'histoire de Nantes, IRCCyN et centre François Viète).*

***Figure 2 – Graphe séquentiel de la production de données 3D***

# 2. LES NOTIONS 3D FONDAMENTALES

## 2.1 Géométrie

Dans cette section, nous abordons d'abord toutes les propriétés qui permettent de définir un objet par la place qu'il occupe dans un environnement 3D. Pour revenir aux définitions dans le domaine de la synthèse d'image et de la 3D, le lecteur pourra se référer au livre « Informatique graphique et rendu » [2].

### Point 3D :

Un point 3D correspond à une position dans l'espace en 3 dimensions (c'est-à-dire avec trois valeurs ou coordonnées pour le positionner, souvent dénotées X, Y et Z). Ce point 3D peut aussi être associé à d'autres informations prenant une valeur à cette position (voir normale, couleur,

### Nuage de points :

Une simple liste de points 3D sans qu'aucune structure n'ait été faite pour lier ces différents points (voir Figure 3).

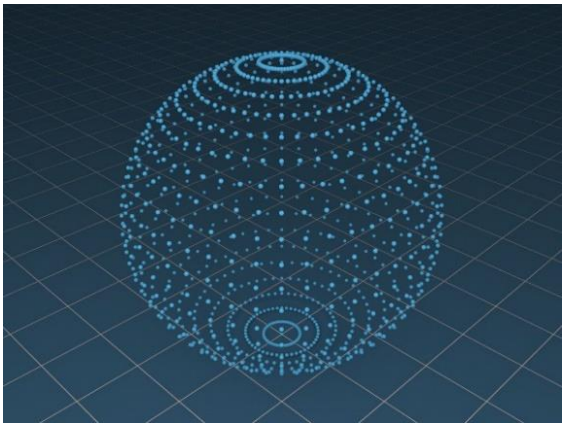


*Figure 3 – Nuages de points pour une sphère*

### Maillage

Un maillage correspond à une liste de polygones 3D qui sont un ensemble de point 3D liés entre eux. Le point 3D devient

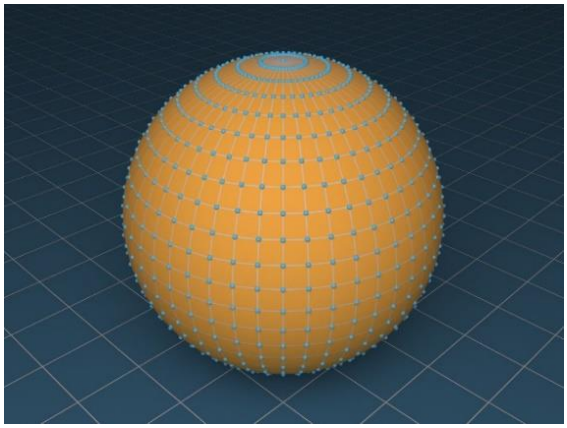


*Figure 4 – Maillage obtenu à partir du nuage de points de la Figure 3.*

alors sommet (voir Figure 4). Le polygone le plus courant est un triangle formé de trois sommets. Les liens entre les points structurent l'ensemble des points 3D.

Il est important de noter qu'il y a plusieurs possibilités de maillage à partir d'un ensemble de points donnés (voir Figure 5) : le résultat de l'outil informatique qui crée le maillage à partir d'un nuage de points dépend d'un certain nombre d'a priori implicites. Certains choix peuvent être laissés à l'utilisateur a priori ou a posteriori pour imposer des solutions plus pertinentes que celles trouvées automatiquement.

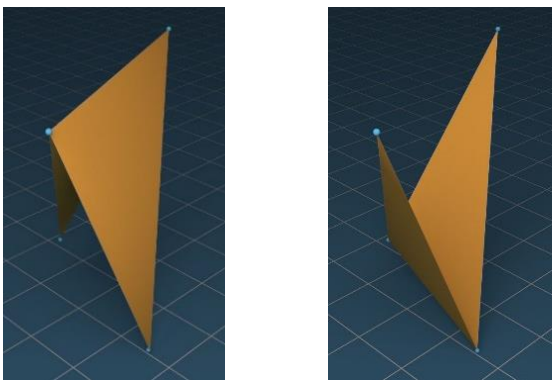


*Figure 5 – Deux maillages de même qualité obtenus à partir des mêmes quatre points 3D.*

### Normale d'un point 3D

Orientation au niveau du point 3D de la surface qui y passe. Pour un volume fermé, elle pointe vers l'extérieur (voir Figure 6).

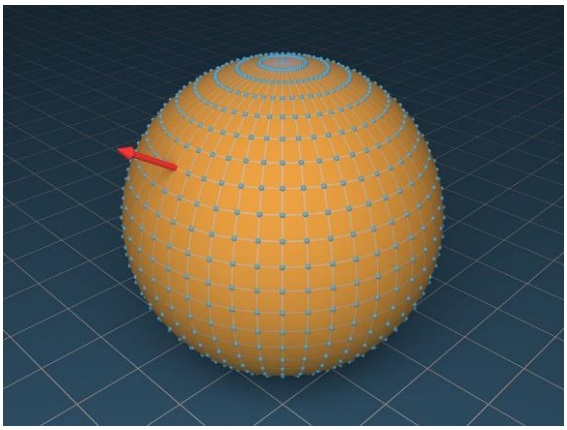


*Figure 6 – La normale (vecteur rouge) indique sur le point sélectionné l'orientation de la surface (ici une sphère).*

### Volume :

En informatique graphique, un volume est une donnée 3D qui n'est pas simplement caractérisée par sa surface, mais par toutes les variations qui peuvent intervenir à l'intérieur de cette surface (voir tomographie). Pour les SHS, lorsque l'on parle de volume, il est souvent fait référence à l'occupation que prend un objet dans l'espace.

## 2.2 Apparence & Couleur

Tout ce qui contribue à définir ce que l'on voit d'un objet au-delà de sa position dans l'espace et, dans sa version numérisée, toutes les données qui permettent d'en produire une visualisation encore une fois, au-delà de la simple géométrie (par exemple pour la restitution de polychormie – Figure 7). De base, cela peut-être la couleur associée à chaque point 3D.

### Couleur :

La couleur regroupe, si l'on se réfère au dictionnaire Larousse, de nombreuses notions, allant de l'aspect que prennent les objets sous un éclairage donné, à celle de pigment (*boîte de couleurs*). Dans le domaine de la 3D, la notion de couleur se réfère principalement à la valeur que l'on peut afficher sur un écran ou mesurer grâce à un appareil photo ou une caméra. C'est souvent un triplet rouge-vert-bleu de valeurs.



*Figure 7 – Modèle 3D coloré d'une vierge à l'enfant (Musée des Augustins - Toulouse) pour la simulation de diverses polychromies. (Numérisation et Restitution par Archeovision Production - 2005)*

### Couleur par sommet :

Une couleur peut être associée à chaque point 3D. Elle représente soit une couleur directement affichable soit une propriété de réflexion (principalement un albédo).

### Albédo

Notion fondamentale en radiométrie [3], l'albédo est la proportion de la puissance lumineuse reçue (ou flux lumineux) qui est renvoyée. C'est donc une valeur entre 0 et 1.

### Réflectance :

Souvent synonyme d'albédo, la réflectance généralise cette notion en l'étendant à un rapport de puissance reçue dans une direction et renvoyée dans une autre direction.

### BRDF :

Acronyme de *Bidirectionnal Reflection Distribution Function* ou fonction de distribution bidirectionelle de la réflexion. Introduite en 1977 [4], elle représente la manière dont une surface réfléchit une partie de la lumière (éclairement) venant d'une direction donnée dans une autre direction. Par rapport à la réflectance, la BRDF n'est pas une valeur entre 0 et 1, mais simplement une grandeur radiométrique positive.

### Shader :

Pour le domaine de la 3D, le terme Shader [5], [6] réfère à un petit programme permettant de produire l'aspect final d'un objet dans le processus de création d'une image. Ce programme peut simplement modifier la couleur finale, calculer la réflexion de la lumière pour obtenir cette couleur, voire même modifier la forme d'un objet

### Texture (2D):

Dans ce document, une texture définit une image 2D utilisée pour habiller une partie ou tout un objet (voir Figure ).

### Texel :

Pixel d'une texture 2D.

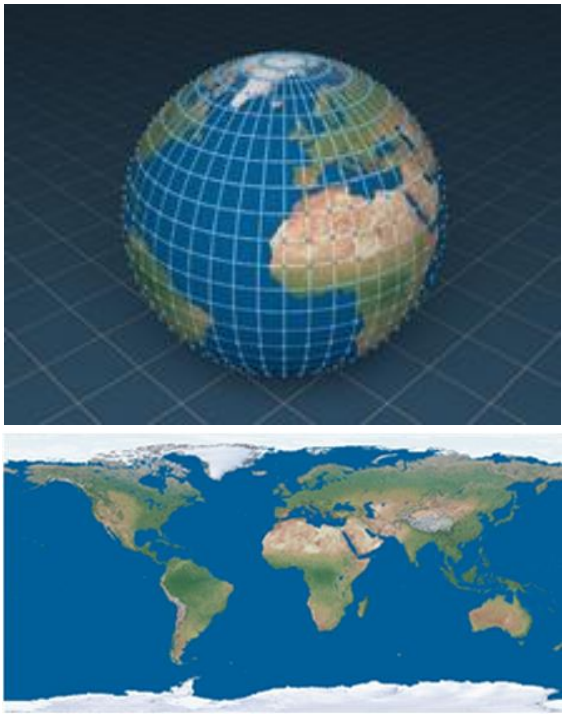


*Figure 8 – Texture 2D (en bas) projetée sur une sphère.*

### Colorimétrie :

La colorimétrie peut avoir de nombreuses définitions. Selon le dictionnaire Larousse, c'est l'« ensemble des techniques qui permettent de définir et comparer les couleurs ». Pour les données 3D dans le domaine des SHS, cette définition est étendue à l'ensemble des informations qui permettent de connaître les conditions dans lesquelles les mesures de couleurs ont été faites afin d'au mieux calibrer le processus.

### Lumière :

En infographie [2], une lumière ou source de lumière est un modèle numérique des sources de lumière réelles. Elles permettent d'estimer la couleur perçue d'un objet en calculant la manière dont la lumière est réfléchie sur un objet.

### Lumière ponctuelle :

Source de lumière numérique correspondant à un point 3D qui émet de l'énergie ou assimilé dans toutes les directions. La répartition est uniforme dans toutes les directions pour une source lambertienne [3]. Un diagramme goniométrique permet d'en définir la répartition dans les autres cas. Rares sont les sources de lumière vraiment ponctuelles et ce modèle reste une approximation, comme cela est souvent fait pour de petites sources comme des flammes de bougies ou des ampoules.

### Lumière directionnelle :

Source de lumière numérique sans taille qui approche le comportement des sources réelles. Elle est caractérisée par une unique direction d'émission d'une énergie ou assimilé. L'éclairement du soleil est souvent approché par une source directionnelle.

### Lumière surfacique :

Source de lumière numérique définie par une surface de taille finie. Un plafonnier peut être approché par une lumière surfacique.

## 2.3 Modèle et Scène 3D

### Modèle 3D :

Ensemble de données numériques liées à un unique objet d'étude et obtenues après acquisition ou modélisation en 3D. Il une synthèse numérique destinée à évoluer avec l'état des connaissances de la recherche. Le modèle peut ainsi avoir plusieurs versions après chacune des étapes du graphe séquentiel de production des données (voir Figure 2) jusqu'à la version finale livrée pour un objectif précis. Les termes *modèles 3D, modèle virtuel, modèle numérique* sont considérés comme équivalent entre eux.

### Scène 3D :

En infographie, une scène 3D contient un ou plusieurs objets 3D dans un même référentiel 3D, associés à d'autres données comme des sources de lumière.

# 3. LA QUALITE DES DONNEES

Les notions présentées dans cette section correspondent à celles utilisées couramment dans la rédaction des cahiers des charges. Elles sont présentées avec une volonté de standardiser leur usage. Elles restent cependant éloignées des recommandations [7] du Bureau International des Poids et des Mesures[3] vers lesquelles il serait souhaitable de se conformer dans le futur.

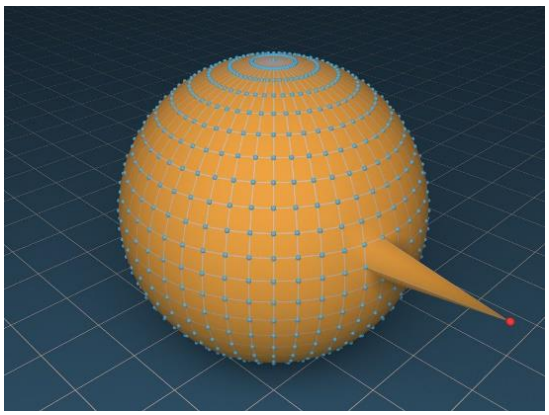


*Figure 9 – Exemple de point aberrant : le point en rouge est très différent des autres points en bleu et correspond certainement à une erreur de mesure.*

## Données aberrantes :

Les données aberrantes [8] (ou *outliers* [9] en anglais) sont des données dont les valeurs semblent trop éloignées ou incohérentes par rapport à l'ensemble ou une sous-partie de l'ensemble des données (voir Figure ). Un exemple sont les points hors-champ.

## Données non pertinentes :

Données qui n'appartiennent pas à l'objet d'étude. Un exemple est le support sur lequel est posé l'objet qui peut se retrouver dans les mesures en même temps que l'objet lui-même (voir Figure 10).

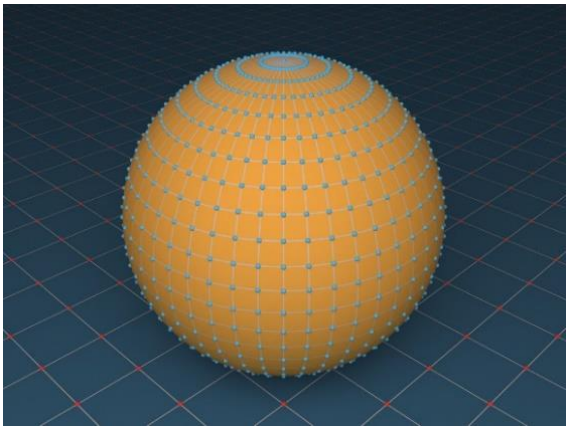


*Figure 10 – Données non pertinentes. Si l'objet d'étude est la sphère, les points bleus sont pertinents et les points rouges au sol sont non pertinents.*

## Données redondantes :

Suracquisition de points très similaires par rapport à la résolution ou la précision voulue.

## Bruit de mesure :

Perturbation (voir Figure 11) des mesures par un phénomène non répétable ou aléatoire qui résulte en une différence entre la valeur mesurée et la valeur réelle. Le plus connu est le bruit ou grain chromatique obtenu dans une prise photographique dans des conditions d'éclairage faible, de long temps d'exposition et un gain élevé.

## Biais de mesure :

Perturbation des mesures par un phénomène répétable qui résulte en une différence entre la donnée mesurée et la valeur

[3] BIPM - https://www.bipm.org

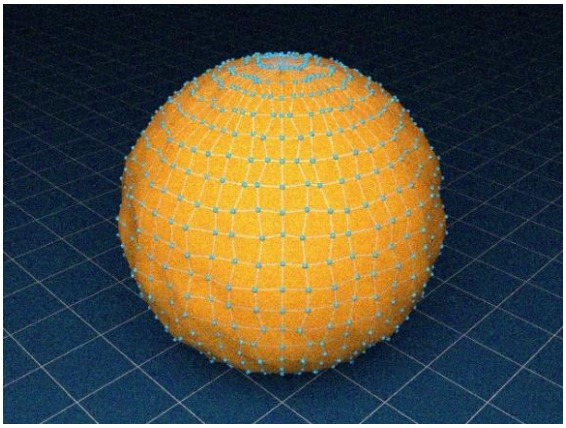


*Figure 11 - Bruit de mesure. La position mesurée est décalée aléatoirement par rapport à la position exacte sur la sphère.*

réelle (voir Figure 12). Cela peut-être par exemple une erreur dans la taille de l'objet ou un écart constant entre valeurs mesurées et réelles. Le biais de mesure peut souvent être corrigé par une calibration du système de mesure.

| Scale | Scanning Interval (mm) | Precision (mm) | Max.Object Size (M) |
|---|---|---|---|
| 1 :10 | 2 | 2 | 5x5 |
| 1 :20 | 4 | 4 | 10x10 |
| 1 :50 | 15 | 15 | 20x30 |
| 1 :100 | 25 | 25 | 40x60 |

*Tableau 1 - Exemple de précision pour la lasergrammétrie. Source: GIM - Terrestrial Laser Scanning - http://bit.ly/2wjeAcp*

## Précision :

Écart maximal entre la valeur mesurée et la valeur réelle. Elle est soit absolue (par exemple un écart de ±1mm), soit relative (par exemple un écart de ±1%). Actuellement, en métrologie, on préfère l'usage d'erreur de mesure.

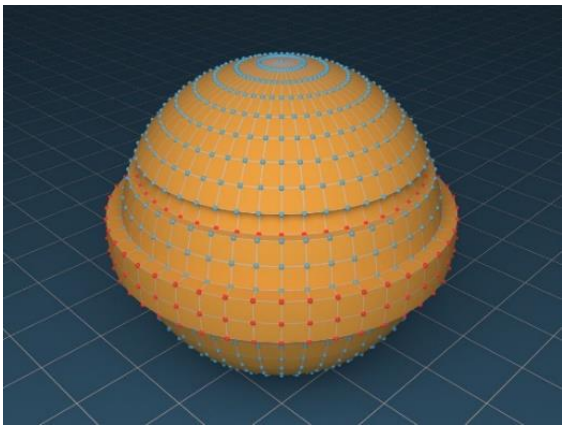


*Figure 12 – Exemple de biais de mesure : l'appareil de mesure a introduit sur certaines zones (points rouges) un décalage constant par rapport à la position réelle sur la sphère.*

## Résolution (spatiale) :

D'une manière générale, la résolution correspond à l'espacement entre deux mesures. Cela correspond au détail minimum du modèle.

- Sur le sujet, cela correspond à la distance entre deux points de mesures adjacents.
- Pour une image scannée, elle est associée à la densité de pixels d'une image (par exemple en nombre de pixels par centimètre)[4].
- Pour un écran, cela dépend à la fois du nombre de pixels et de la taille de l'écran [10].
- Pour toute autre image, la résolution dépend de la taille de la projection d'un pixel sur l'objet d'étude (par exemple une texture).
- Pour une photographie, la résolution dépend donc du nombre de pixels (voir la notion de définition), de la distance entre le sujet et l'appareil photo, de la

[4] http://www.pixelvalley.com/appareil-numerique/definition-resolution.php



(a) *image LDR sous exposée temps d'ouverture = 0.25 sec* (b) *image LDR temps d'ouverture = 2 sec* (c) *image LDR sur exposée temps d'ouverture = 3.2 sec* (d) *image HDR reconstruite*

*Figure 8 – Séquence (a-c) de photographie du "memorial church" de l'Université de Harvard pour différents temps d'exposition qui une fois fusionnée permet de reconstruire une image HDR (d) contenant des détails dans les zones précédemment sous- ou sur-exposées. Images issues de l'article de Debevec et Malik (ACM SIGGRAPH 1997).*

taille du sujet et/ou du champ de vision.

- Dans le cadre de la photographie aérienne, on parle de résolution au sol (ou « ground sampling distance » - GSD [11]).

## Définition (image) :

La définition d'une image est le nombre total de pixels qu'un capteur permet d'acquérir pour constituer une image[4].

## HDR ou « High Dynamic Range »:

HDR [12] désigne à la fois un format d'image, mais aussi un ensemble de techniques qui permettent de créer et de manipuler de telles images. Pour des images HDR, cela correspond à une augmentation de la dynamique, c'est-à-dire du rapport entre la valeur maximale et la valeur minimale par pixel et par couleur, par rapport à des images classiques de type BMP, JPEG, GIF, etc. Ces images permettent de capturer des valeurs plus proches des puissances lumineuses d'une scène réelle, et ainsi de limiter les sous- et sur-expositions.

Lorsque l'on parle de HDR en termes de traitement (comme sur la plupart des appareils photographiques actuels), cela signifie que le logiciel et/ou le périphérique d'acquisition va multiplier les prises de vue avec différentes expositions et les recombiner afin de limiter les sous- et sur-expositions. Attention cependant, les traitements colorimétriques tels que la balance des blancs n'ont pas un comportement comparable sur une image issue d'un tel procédé bien que le format d'image reste un format classique.

# 4. OBJECTIFS

## Enregistrement :

Relevé d'informations caractéristiques de l'état existant d'un objet patrimonial (levé topographique, relevé d'architecture, orthophotographie, photogrammétrie, lasergrammétrie, etc.). L'objectif d'un enregistrement est de fournir postérieurement un accès dématérialisé à l'objet patrimonial. Il est aussi une sauvegarde, dans la limite de ce qui a été relevé.

## Communication :

Diffusion d'un savoir scientifique et des méthodologies issus de l'étude de l'objet, à destination d'un public scientifique et/ou d'un grand public.

## Valorisation :

Selon le Larousse, la valorisation est l'« action de donner de la valeur à quelque chose ». Dans le cadre des données concernées par ce document, c'est toute action qui se base sur celles-ci dans un contexte autre qu'une étude scientifique, comme la production d'un document de vulgarisation.




*Figure 14 – Exemple de valorisation : visite interactive de la Rome antique de nuit (Université de Caen Normandie, CIREVE, Plan de Rome)*

# 5. DONNEES BRUTES - ACQUISITION : A0

La reconstruction 3D scientifique doit s'appuyer sur de la documentation existante réalisée par différentes techniques de relevé [13], [14] et de représentation, mais aussi par de la documentation déjà existante. Nous abordons le vocabulaire pour ces deux aspects.

## 5.1 Acquisition instrumentale

### Acquisition :

Dans le cadre d'utilisation de ce document, une acquisition est une mesure de données 3D par photogrammétrie, lasergrammétrie, tomographie, relevé topographique, ou toute autre technologie ou combinaison de technologies qui le permet.

### Photogrammétrie :

La photogrammétrie [9] est une technologie calculant un ensemble de points 3D à partir d'un jeu de photographies ou d'images numériques. Cet ensemble de points 3D est défini dans un unique repère et à une échelle ou taille qu'il faut déterminer. À chacun de ces points, une information de couleur peut être associée par extraction des informations de couleur des images d'origine.

### Lasergrammétrie :

La lasergrammétrie rassemble toutes les techniques d'acquisition qui font usage d'un laser pour calculer dans une direction donnée la distance entre l'objet d'étude et un point d'émission. L'intensité de la réflexion du laser peut aussi être mesurée. Le balayage du laser permet d'obtenir un ensemble de points 3D. Certains dispositifs permettent l'acquisition d'une information de couleur en utilisant un capteur supplémentaire dédié.



*Figure 15 – Numérisation 3D d'un casque gaulois trouvé sur le site de Tintignac par lasergrammétrie avec un scanner laser Faro (Archeovision production - 2018)*

### Topographie[5] :

Technique de report sur un plan des formes du terrain, avec les détails des éléments naturels ou artificiels qu'il porte, afin de déterminer la position et l'altitude de n'importe quel point situé dans une zone donnée. Les outils les plus souvent utilisés pour effectuer un relevé topographique sont la station totale ou tachéomètre, le positionnement par satellites (GPS) ou encore le télémètre laser. Dans le cas de la topographie historique, selon la définition du lexique donnée par le Centre

[5] Cf., (site 1 et site 2 consulté le 6/12/2017)

National des Ressources Textuelles et Lexicales[6], il s'agit de l'ensemble des méthodes utilisant de manière convergente la topographie, la toponymie, l'archéologie, etc., pour identifier les sites antiques.

### Tomographie :

Très utilisées en imagerie médicale [15], ces techniques permettent de calculer des caractéristiques internes d'un objet à partir de données d'imagerie. Ces caractéristiques peuvent être par exemple une densité, une absorption (imagerie aux rayons X), des indices de réfraction [16] , etc.. Les données résultantes sont souvent sous la forme d'une grille régulière 3D de valeurs. Une des techniques les plus couramment employées en archéologie est la tomodensitométrie, nom scientifique de la scanographie par rayons X.

### Captation sonore :

Dans le cadre de la production 3D, il s'agit de l'enregistrement des sons produits ou issus d'un objet patrimonial (voir Figure ). Cet enregistrement est à distinguer du recueil de sources orales ou musicales autour d'un objet patrimonial, qui relève d'un recueil complémentaire d'informations par sources. Nous pouvons citer par exemple, l'enregistrement sonore des différents matériaux (bois, bétons, pierres…) d'un ensemble architectural, pour déterminer son acoustique.



*Figure 16 – Captation sonore ( Projet IMAPI porté par Julien Ferrando ) **https://www.prism.cnrs.fr/projets/projets-collaboratifs/imapi/***

### RTI ou « Reflectance Transform Imaging » :

Issue à l'origine d'un travail pour avoir des textures qui dépendent des sources de lumière (« Polynomial Texture Map » - PTM [17]), cela désigne à la fois un dispositif d'acquisition d'images pour un même point de vue avec différentes directions ou positions de sources de lumière, mais aussi l'approximation de ces données sous la forme de PTM ainsi que les outils de visualisation correspondants. Ces techniques ont été popularisées dans le domaine des SHS par l'association « Cultural Heritage Imaging »[7]. En termes de visualisation, cela permet de rejouer hors-site les changements dus aux variations d'éclairage et de les manipuler pour en améliorer l'aspect [18]. L'approximation se fait généralement par des fonctions standards (e.g., des polynômes) choisies a priori et sans relation avec les propriétés des surfaces considérées.

## 5.2 Documentation et sources d'information

Il s'agit des différentes catégories de sources iconographiques (photographies, dessins, peintures, gravures) qui peuvent

[6] http://www.cnrtl.fr/definition/topographie

[7] CHI – Cultural Heritage Imaging : http://culturalheritageimaging.org/

témoigner de l'état d'un édifice ou d'un objet à un moment particulier de son histoire.

### Iconographie :

Collection d'images liées à l'objet à restituer en 3D (relevés, croquis, photographies, iconographie ancienne : mosaïque, numismatique, peinture, …).

### Textes :

Ensemble des écrits, sous toutes les formes, liés à l'objet à restituer en 3D : littérature primaire (textes anciens, inscriptions), littérature secondaire (rapports de fouilles, journaux de fouilles, publications scientifiques...). Des exemples de la forme de ces écrits sont les manuscrits, les imprimés, les gravures, ….

### Sources orales :

Documentation issue directement de dires d'individus, de groupes ou d'acteurs œuvrant autour de l'objet patrimonial, enregistrée au format audio ou transcrite.

# 6. DONNEES PRE-TRAITEES / PRETRAITEMENT : LA V0

Ce sont les données issues d'une série d'opérations techniques de nettoyage, consolidation, complétion et d'enrichissement sémantique à partir de l'acquisition brute. Ces données traitées constituent une version initiale du modèle (V0). Dans le cas d'une acquisition, la V0 est le premier modèle complet avec le minimum d'intervention humaine. Dès que le scientifique intervient, on parle de "traitement". Chaque niveau de prétraitements devrait être accompagné de métadonnées les explicitant avec les algorithmes/méthodologies utilisés ainsi que les paramètres utilisés et un niveau de qualité.

## Nettoyage :

Un nettoyage consiste à supprimer les données non pertinentes, redondantes ou aberrantes. Il peut aussi consister en la réduction du bruit de mesure et la correction d'un biais de mesure. Le nettoyage peut être automatique ou manuel. Il est important de connaître les paramètres de l'instrument de mesure afin de ne pas nettoyer des données utiles. Il est tout aussi important que la ou les personnes impliquées dans l'acquisition effectuent ce travail ou du moins travaillent en collaboration étroite avec la ou les équipes effectuant le prétraitement et valident le résultat auprès des scientifiques demandeurs de la numérisation.

## Consolidation (en anglais - « registration »):

Dans le cas de la consolidation du nuage de points, quel que soit le dispositif d'acquisition utilisé, une simple acquisition (à partir d'un seul point de vue) n'est jamais suffisante pour enregistrer un ensemble patrimonial. Différentes acquisitions sont alors nécessaires, surtout quand le but est d'enregistrer un bâtiment entier, ou un site, à plusieurs niveaux de détail. Il est donc nécessaire de transformer les nuages de points collectés séparément dans un système de coordonnées unique afin de préparer sa réunification. La consolidation est donc la réunification contrôlée de plusieurs fichiers en un seul. On peut citer en exemple la réunification de différents points de vue d'un objet scanné grâce à la détermination de points homologues (points qui correspondent à la même position sur un objet [19]) et l'ajustement des modèles, de manière manuelle, semi-automatique (un premier ajustement est fait manuellement pour être ensuite modifié par le logiciel) ou automatique (le logiciel se charge de faire toutes les mises en correspondance).

## Géoréférencement[8] :

Positionnement et orientation géographique des modèles 3D sans modifier les données sources d'origine. Cette opération consiste à passer d'une localisation relative des données 3D à une localisation absolue

8 https://www.emse.fr/tice/uved/SIG/Glossaire/co/Georeference.html

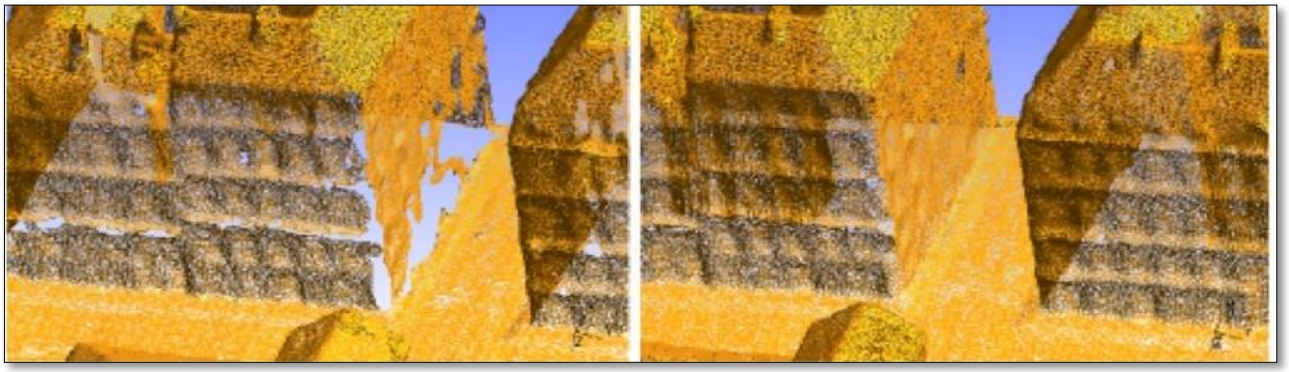


*Figure 9 – Complétion d'un maillage : (gauche) Maillage acquis (droit) trous du maillage complétés - Projet Nantes 1900 - F. Laroche (Epotec-LS2N UMR 6004)*

dans un système de coordonnée géographique reconnu.

### Complétion / Comblement :

Ajout de données pour compléter les données originales présentant des parties.

# 7. HYPOTHESES / RESTITUTION : PASSAGE DE V0 A V2

## Traitement :

Étapes d'intervention scientifique sur un modèle 3D, à partir du modèle structuré initial (V0) et de tous les modèles traités qui en résultent (V1n). Les traitements effectués pour passer d'un état à un autre doivent être renseignés dans les paradonnées.

## Restitution :

Selon Jean-Claude Golvin [20], « le mot restituer exprime avant tout l'idée de rendre. Il s'agit (…) de redonner l'idée de l'aspect d'un édifice ancien », d'un site ou d'un objet étudié, aspect qu'ils « devaient avoir à un moment ou à un autre de leur histoire ».

La restitution est une reconstruction théorique conçue sur la base de données scientifiques. Elle consiste à représenter un état remarquable d'un site archéologique, d'un monument ou d'un objet sous la forme de dessins ou de maquettes, physiques ou numériques, à partir de sources archéologiques ou historiques. Cette restitution permet d'offrir une meilleure compréhension des vestiges et peut servir de base de travail afin de vérifier des hypothèses archéologiques et/ou architecturales. Ainsi, « La restitution est toujours en cours car elle suit l'évolution de la recherche dans le domaine mais aussi celle des technologies » [21].

## Structuration du modèle 3D :

Constitution d'un objet numérique qui contient toutes les données 3D et les métadonnées, préalable à toute utilisation pédagogique, scientifique ou conservatoire. Le modèle peut, dès ce stade, prendre en compte les aspects de cinématique (mouvements, actions mécaniques).

## Enrichissement sémantique :

Ajout d'informations au niveau des données 3D [22]. Cet enrichissement est une interprétation des données acquises et est souvent nécessaire à la compréhension de l'objet d'étude. Ces informations peuvent être ajoutées par la colorisation d'un nuage de points ou l'application d'une texture, l'ajout de texte ou encore, le filtrage ou la classification d'un nuage de points ou d'une sous-partie de ce nuage.

L'enrichissement sémantique textuel peut utiliser des thésaurus[9] voir des ontologies afin de structurer les relations entre les termes utilisés.

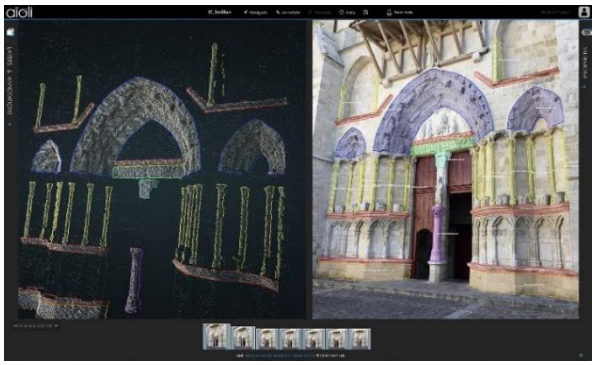



*Figure 10 – Plateforme d'annotation sémantique plateforme Aioli - (MAP)*

[9] PACTOLS & Opentheso : https://pactols.frantiq.fr/opentheso/

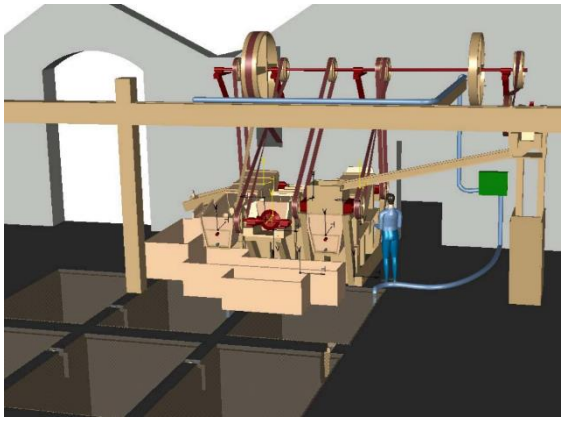


*Figure 19 – Exemple d'étude cinématique de cas de l'Entreprise BERTRAND à BATZ-SUR-MER (44) : modélisation 3D dynamique de l'usine et de la machine à laver le sel (1914-1966) (F. Laroche - LS2N)*

## Cinématique :

Capacité à mettre en mouvement différentes parties du modèle 3D et les mouvements mécaniques qu'ils peuvent entretenir entre eux. En ajoutant la dimension temporelle à la cinématique, on obtient un modèle dynamique permettant de faire des simulations (voir par exemple Figure ).

## Simulation :

Calculs sur un modèle 3D permettant de reproduire un ou plusieurs aspects d'un modèle pour valider des hypothèses (cinématique du modèle, restitution de texture, de lumière, mouvement de foules, ...).

## Animation :

Mouvements virtuels d'objets dans une scène 3D (statique ou dynamique). Cela peut comprendre (comme dans la Figure  et Figure 20) le mouvement de personnes comme celle de pièces mécaniques, chute d'objets,..etc.



*Figure 20 – Restitution d'un atelier de l'ancienne usine Renault de Boulogne Billancourt (atelier C5) avec animation de la chaîne de travail montrant la production des châssis des voitures. (Projet Usine 3D-Archeovision Production)*

Il est à noter que ce mouvement peut être défini soit de manière ad-hoc par des trajectoires dans l'espace sans contraintes physiques soit par le résultat d'une simulation physique (trajectoire de chute d'un objet sous influence de la gravité, collisions, ...). Il revient donc à l'expert de prendre le temps de valider ces comportements.

## Métadonnées :

Données servant à décrire un jeu de données, un modèle 3D (date d'acquisition, auteurs, droits d'utilisation). Les données environnantes (contexte) sont renseignées en tant que paradonnées.

## Paradonnées :

Données propres au contexte, mais ne constituant pas directement des métadonnées, comme le rapport méthodologique ou le processus d'acquisition (choix scientifiques, matériels, logiciels et techniques). Terme spécifique aux statistiques pour renseigner le processus d'enquête.

# 8. LIVRABLES

### Réalité virtuelle :

La notion de réalité virtuelle [23] englobe toutes les technologies qui permettent de recréer de manière numérique le monde qui nous entoure et de le restituer. Cela couvre les modèles numériques, les algorithmes de création d'images (ou tout autre signal pouvant stimuler les sens humains comme du son), les afficheurs tels que les écrans, les casques, etc. dans le cadre d'images (ou les périphériques de restitution sonore pour le son) ainsi que toutes les techniques et les outils d'interactions entre l'humain et ces données.

### Réalité augmentée :

Selon le traité de la réalité virtuelle [24], « la réalité augmentée regroupe l'ensemble des techniques permettant d'associer un monde réel avec un monde virtuel ». Dans le cadre de la création d'images, elle consiste souvent à la superposition d'images réelles et d'images synthétiques sur des écrans ou à l'aide de dispositifs dédiés tels que les casques/lunettes de réalité augmentée.

### Réalité mixte :

La réalité mixte regroupe l'ensemble des technologies [25] comme la réalité augmentée qui combinent avec une proportion plus ou moins grande des données réelles avec des données virtuelles (voir Figure ).

### Maquette interactive :

Scène 3D dans laquelle on peut se déplacer en temps réel ou manipuler certains objets 3D.

### Rendu précalculé :

Modèle 3D fixe ou avec cheminement prédéfini. Une application peut proposer plusieurs rendus précalculés (au choix de l'utilisateur).

### Stéréoscopie :

Pour tout ce qui est affichage, la stéréoscopie regroupe l'ensemble des techniques qui permet à un utilisateur d'avoir l'impression d'une image en 3D [26] en affichant une image dédiée pour chaque œil.

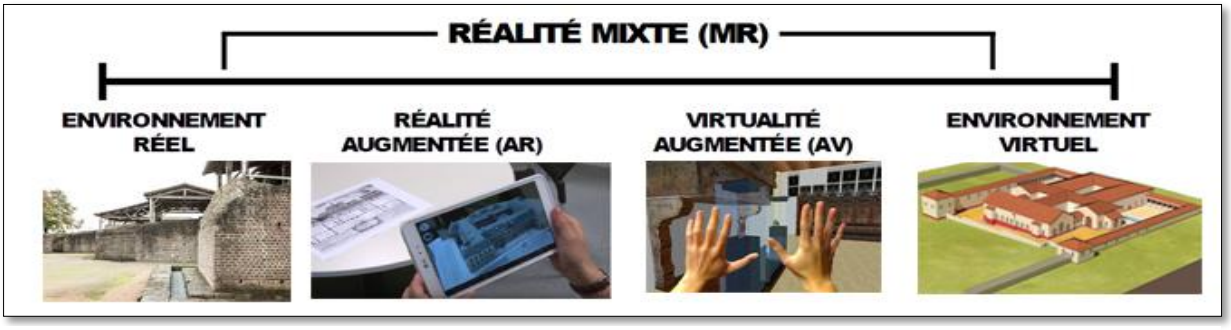



*Figure 21 - Continuum de Milgran et al. [24] entre environnement réel et environnement virtuel*



*Figure 22 – Ortho-image développée, du chevet de la chapelle de la Trinité, Iles Saint-Honorat, Cannes (S.Sorin - CEPAM)*

## Ortho-image :

Image géométriquement rectifiée et mesurable, projetée sur un plan de référence (orthogonal, zénithal, etc.). Lorsqu'on recompose une ortho-image à partir de plusieurs photos, on parle d'orthophotographie mosaïque.

## Décimation :

Selon le traité de la réalité virtuelle [27], « les modèles fournis (…) comportent régulièrement trop de polygones »

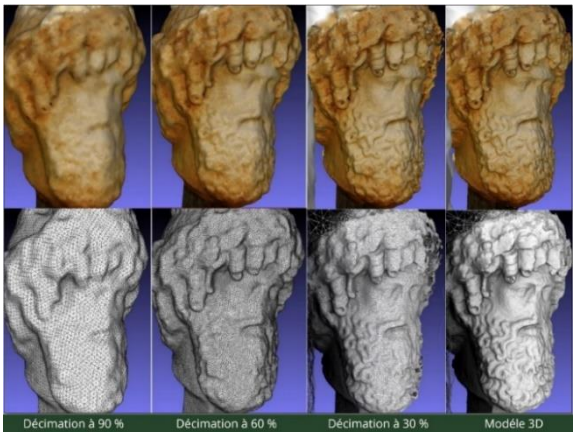



*Figure 23 - Divers niveaux de décimation réalisés sur une numérisation 3D de la tête de Jupiter du musée de Tipasa (M. Chayani - Archeovision)*

pour « être utilisés dans une application de réalité virtuelle ». La réduction du nombre de polygones (e.g., triangles, quadrilatères, …) s'appelle la décimation. La validation du modèle simplifié doit se faire sur un avis scientifique pour assurer la qualité du modèle final.

# 9. BIBLIOGRAPHIE


[1] R. Vergnieux *et al.*, *Livre blanc du Consortium 3D SHS*. 2017.

[2] B. Péroche et D. Bechmann, *Informatique graphique et rendu*. 2007.

[3] T. Lépine et J.-L. Meyzonnette, *Bases de Radiométrie Optique 2e édition*, Cépaduès Editions. 2001.

[4] F. E. Nicodemus, J. C. Richmond, J. J. Hsia, I. W. Ginsberg, et T. Limperis, *Geometrical Considerations and Nomenclature for Reflectance*. National Bureau of Standards, 1977.

[5] R. Cortes, *The RenderMan Shading Language Guide*. Course Technology, 2007.

[6] D. Wolff, *OpenGL 4.0 Shading Language Cookbook*. Packt Publishing, 2011.

[7] JCGM, « Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM) - 3rd edition », BIPM, 2012.

[8] K. Polisano, « Cours de Statistiques niveau L1-L2 », France, févr-2018.

[9] V. Barnett et T. Lewis, *Outliers in Statistical Data, 3rd Edition*. 1994.

[10] D. Ferdani *et al.*, « Terminology, Definitions and Types for Virtual Museums », Delivrable V-Must.net-D 2.1c.

[11] J. C. Leachtenauer et R. G. Driggers, *Surveillance and Reconnaissance Imaging Systems: Modeling and Performance Prediction*. Artech House, 2001.

[12] E. Reinhard, W. Heidrich, P. Debevec, S. Pattanaik, G. Ward, et K. Myszkowski, *High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display and Image-Based Lighting*. Morgan Kaufmann Publishers, 2010.

[13] L. De Luca, « Relevé et multi-représentations du patrimoine architectural - Définition d'une approche hybride pour la reconstruction 3D d'édifices », Theses, Arts et Métiers ParisTech, 2006.

[14] S. Bryant, « Relevé et restitution en 3D. Quel intérêt pour l'archéologie ? », vol. 35, p. 84-87, oct. 2012.

[15] P. Suetens, *Fundamentals of medical imaging*. Cambridge university press, 2009.

[16] I. Ihrke, K. Berger, B. Atcheson, M. Magnor, et W. Heidrich, « Tomographic Reconstruction and Efficient Rendering of Refractive Gas Flows », in *Imaging Measurement Methods for Flow Analysis*, Berlin, Heidelberg, 2009, p. 145–154.

[17] T. Malzbender, D. Gelb, et H. Wolters, « Polynomial Texture Maps », in *Proc. the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 2001, p. 519–528.

[18] H. Mytum et J. R. Peterson, « The Application of Reflectance Transformation Imaging (RTI) in Historical Archaeology », *Historical Archaeology*, vol. 52, n° 2, p. 489–503, juin 2018.

[19] R. Mohr, M. Douze, et P. Sturm, « Géométrie projective, analyse numérique et vision par ordinateur », *Bulletin de l'Union des Professeurs de Spéciales*, n° 219, p. 12-30, 2007.

[20] J.-C. Golvin, « La restitution de l'image des villes antiques : le problème de la représentation des parties non visibles », in *Virtual Retrospect 2003*, Biarritz, France, 2003, vol. 1, p. 39-43.

[21] S. Madeleine, « La restitution archéologique 3D pour valoriser, comprendre ou expérimenter. L'exemple de la Rome antique », *Revue XYZ*, vol. 138, p. 24-30, 2014.

[22] A. Manuel, « Annotation sémantique 2D/3D d'images spatialisées pour la documentation et l'analyse d'objets patrimoniaux », Theses, Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2016.

[23] B. Arnaldi, P. Fuchs, et P. Guitton, « Introduction à la réalité virtuelle », in *Le traité de la réalité virtuelle - 3ème édition*, Presses de l'Ecole des Mines de Paris, 2006, p. Volume 4 chapitre 1.

[24] P. Fuchs, G. Moreau, et A. Berthoz, *Le traité de la réalité virtuelle : L'Homme et l'environnement virtuel*, vol. 1, 5 vol. Presse des Mines, 2006.

[25] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, et F. Kishino, « Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum », in *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 1995, vol. 2351, p. 282–292.

[26] M. Almiron, G. Pisano, et E. Jacopin, *Stéréoscopie et illusion Archéologie et pratiques contemporaines : photographie, cinéma, arts numériques ( parution 03/05/2018)*. Presses Universitaires du Septentrion, 2018.

[27] P. Fuchs, G. Moreau, et J. Tisseau, *Le traité de la réalité virtuelle : Outils et modèles informatiques des environnements virutels*, vol. 3, 5 vol. Transvalor - Presses des mines;, 2016.

*Cet ouvrage est distribué sous la licence Creatives Commons CC BY NC ND*
*Attribution - Pas d'utilisation Commerciale- Pas de modification 4.0 International*