



# Venez avec votre objet patrimonial (à) augmenter

Livret récapitulatif de la journée

Vendredi 17 Janvier 2025  
Auditorium Palissy, C2MRF

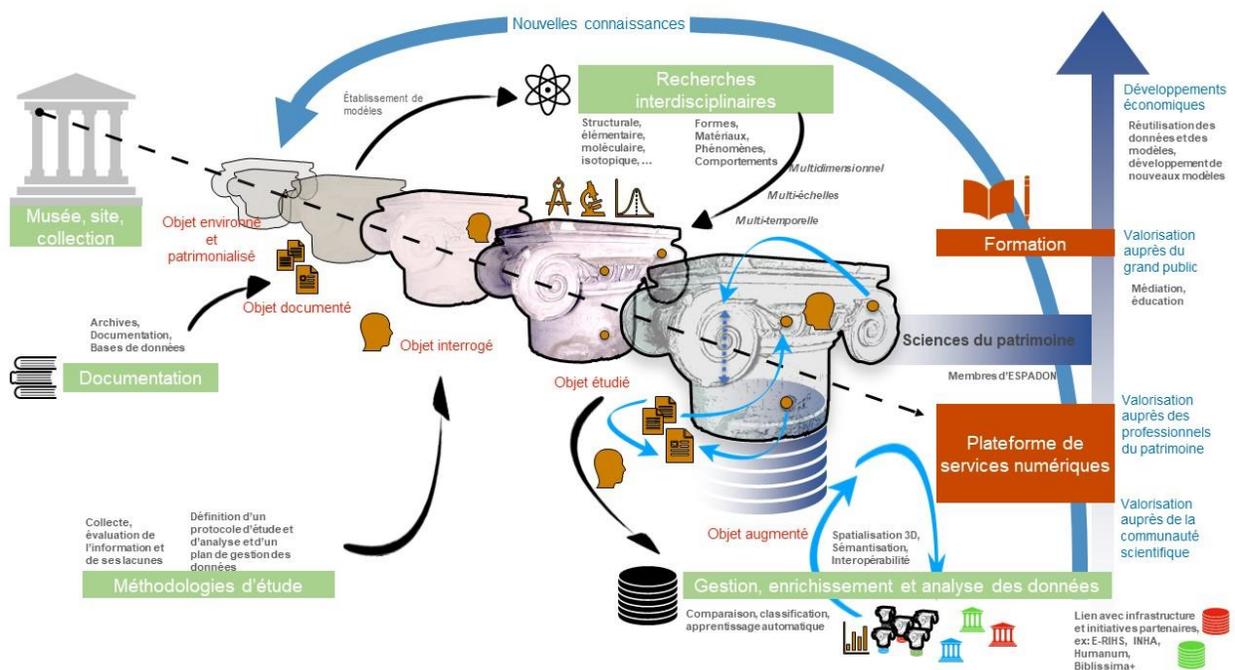
# L'EquipEX Espadon



*Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme d'investissements d'avenir intégré à France 2030, portant la référence ANR 21-ESRE-0050 EquipEx+ ESPADON.*

# L'objet patrimonial augmenté au défi de trois thèmes

OPA (Objet Patrimonial Augmenté) : Écosystème numérique à élaborer en lien étroit avec les acteurs de l'ensemble des communautés scientifiques et professionnelles du champ des Sciences du patrimoine et qui permettra, à terme, d'accéder à tout type d'informations relatives à un objet du patrimoine via une infrastructure distribuée, et de les visualiser grâce à des moyens novateurs.



## Les thèmes clés

- Le traitement numérique des données
- Les outils et méthodes de caractérisation des matériaux de l'OPA
- L'impact climatique de la patrimonialisation et la question du développement durable sont rarement abordés

# Liste des interventions de la journée

*Contexte, objectifs de la journée*

Philippe Jockey (UPN, ArScAn), (WP Sciences humaines et sociales)

## I - L'Objet Patrimonial Augmenté au prisme d'ESPADON : expériences en cours

*Agréger, représenter, et interroger des connaissances pluridisciplinaires : l'expérience du projet scientifique de Notre-Dame de Paris*

Violette Abergel (MAP, CNRS), Roxane Roussel (MAP, CNRS), Olivier Malavergne (CNRS/LRMH)

*Pour une stratégie pérenne et ouverte de traitement et de valorisation de données sur l'or et ses usages dans la peinture des XVIe et XVIIe siècles (programme AORUM)*

Natacha Grim (ETIS, CYU), Romain Thomas (INHA, UPN)

*Le triptyque de Venasque : un objet patrimonial à augmenter*

Sarah Boularand (CICRP), Dominique Vingtain (CICRP), Jean-Marc Vallet (CICRP)

## II - La fabrique de l'augmentation...

*Les pavements en terre cuite, de leur dépose à leur nouvelle exposition, l'exemple de Saint-Martin-d'Hardinghem*

Natacha Frenkel (Atelier Art's du feu-CY)

*Archéométrie et ingénierie inverse pour reconstituer le savoir-faire des horlogers d'antan au 17ème siècle : les projets Simon Le Noir et ArcheHor*

Augustin Gomand (CHRONOSPEDIA)

*Les cadastres d'Orange : des objets à augmenter. Edition, épigraphie et territoire des documents cadastraux de la colonie romaine d'Orange*

Laurent Costa (CNRS, ArScAn), Ricardo González Villaescusa (UPN, ArScAn), Marlène Nazarian (CNRS, ArScAn), Céline Tomczyk, IRAMAT, Esther Vidal Ros (Chercheuse indépendante Infographie et modélisation 3D)

**Synthèse de la journée : vers une feuille de route.**

# Contexte, objectifs de la journée

Philippe Jockey (UPN, ArScAn), WP Sciences humaines et sociales

On se propose aujourd'hui de réfléchir ensemble, acteurs et actrices du patrimoine et membres d'Espadon, aux protocoles par lesquels un objet patrimonial (OP) pourrait voir ses contours étendus, "augmentés", par un processus d'encadrement dans un environnement numérique et de mise en relation avec différentes classes de données. C'est ce qu'on entend lorsqu'on se réfère à la création d'un objet patrimonial augmenté (ou, pour nous accorder sur quelques néologismes plus synthétiques, "OPéisation" ou "espadonisation").

Les États généraux des données du patrimoine et le questionnaire ont permis de constater auprès des acteurs et des actrices du patrimoine :

- des difficultés face à un manque de moyens et de ressources dédiés à l'acquisition, à la visualisation et au stockage des données du patrimoine ;
- leur souhait de participer à la construction de l'OPA et de l'enrichir en clarté et sens pour toutes les communautés, notamment la communauté SHS ;
- leur diversité, y compris des opérateurs privés et des opérateurs de la recherche.

Nous amorçons cette réflexion en reconnaissant dans l'Op(à)A :

- une multiplicité de formes
- une extension spatiale et temporelle
- des expressions techniques propres
- une dynamique, une trajectoire
- une nature hautement interdisciplinaire, car tous les champs du savoir peuvent contribuer à sa construction

Pourquoi augmenter un OP ? Non pas seulement pour produire de la donnée, mais pour rencontrer l'histoire dans sa dimension interdisciplinaire. Nos objectifs sont la conservation, la construction et même l'invention d'OPA qui vont au-delà des objets matériels.



La tablette dite de Pitsa, trouvée dans la région de Corinthe, est en quelque sorte la métaphore de ce que ne doit pas être tout à fait un OP, en dépit de son caractère exceptionnel : un magnifique panneau en bois, avivé d'une polychromie (analysée au sein du C2RMF et publiée dans la revue *Technè*), unique pour son époque (l'archaïsme grec). On y reconnaît une procession, où officiants et officiantes (les porteurs d'OP ?) conduisent à l'autel un mouton, l'OP (?) destiné au sacrifice (tel ou tel protocole d'analyse ou de numérisation, par ex., mis en œuvre) avant que chacun.e ne reparte chez soi avec tel ou tel membre après dépeçage, sans qu'une consommation partagée ne soit proposée à la communauté.

À l'opposé de ce destin terrible ...

... L'OPA est un objet patrimonial d'un genre nouveau, mais il reste à définir. L'OPA n'est pas un objet "fragmenté", il est un objet issu d'une co-construction, d'une convergence d'efforts multidisciplinaires. Il sera le résultat d'un effort de réduction des redondances, de construction d'un réseau pluridisciplinaire afin d'éviter des "isolats (bien que d'excellence) pluriels".

Trois axes de réflexion sont proposés :

- Le traitement numérique des données : quelles solutions pour structurer et traiter les données constituant un OPA de manière à en garantir notamment l'interopérabilité (enjeu d'accessibilité, de réutilisation, de vocabulaires contrôlés), tant par la communauté scientifique que par le grand public ? Avec le concours notamment l'appui du groupe de travail 7 (Données numériques).
- Les outils et méthodes de caractérisation des matériaux de l'OPA : quels protocoles pourront être mis en place pour augmenter un OP de données

analytiques et à quel moment ? Avec le concours des groupes de travail 1 (Tomographie X Imagerie chimique multi-échelle), 2 (PIXXL), 3 (Groupe de travail « Lumière »), 4 (PASTAGA) et le groupe de travail 7 (le système LIBS-Raman, la vibrométrie 3D, l'imageur gonio hyperspectral).

- L'impact climatique de la patrimonialisation et la question du développement durable. Quels sont les effets des données environnementales sur votre objet patrimonial et réciproquement dans quelle mesure ce dernier les affecte-t-il ? Au-delà du constat, quelles seraient les conduites à mettre en œuvre et les nouveaux outils à imaginer pour pallier les effets de telles altérations ? Avec l'appui du work package 6 (Climat/comportement/ Patrimoine).

Ces trois axes de réflexion se déclineront sur des exemples d'augmentation aboutis ou potentiels. Les cas d'augmentation les plus aboutis seront présentés dans la session matinale (chacun est représentatif de l'un des trois axes de réflexion proposés). Ils pourront alimenter la discussion sur les OP non engagés à ce jour dans les travaux du projet ESPADON, qui seront présentés de la session de l'après-midi.

À l'issue de ces discussions, nous réfléchirons à une feuille de route pour échanger et nous rencontrer davantage dans un "réseau d'OPérisables".



# **I - L'Objet Patrimonial Augmenté sous le prisme d'ESPADON :**

**expériences en cours**

# Agréger, représenter, et interroger des connaissances pluridisciplinaires : l'expérience du projet scientifique de Notre-Dame de Paris

Violette Abergel (MAP, CNRS), Roxane Roussel (MAP, CNRS), Olivier Malavergne (CNRS/LRMH)

## *L'OPA décrit par les intervenants*

Le chantier scientifique Notre-Dame de Paris, mis en place par le ministère de la Culture et le CNRS dès le lendemain de l'incendie ayant frappé la cathédrale en 2019, implique environ 200 chercheurs de différentes disciplines, telles que l'archéologie, l'anthropologie, l'architecture, l'histoire, la chimie, la physique ou encore l'informatique. Le caractère fortement pluridisciplinaire de cette étude sollicite en conséquence des méthodes, technologies, et procédés d'analyse extrêmement variés pour aborder des thématiques multiples.



Figure 1. Pipeline pour la détection, segmentation et annotation sémantique par deep learning (Kévin Reby)

Le corpus construit grâce à la collecte de données numériques préexistantes et l'agrégation progressive des données produites par ces membres tout au long du projet est aussi riche qu'hétérogène. A ce jour, un jeu de données de plus de 30 téraoctets a été constitué, comprenant plusieurs centaines de milliers de documents mêlant notamment photographies, modèles 3D, analyses physico-chimiques, rapports d'expertise, ou encore de nombreuses sources d'archives. Outre leur hétérogénéité, ces données s'illustrent par leur caractère multidimensionnel, évoluant à la fois dans l'espace (3D), dans le temps (4D), et pouvant faire référence à des dimensions sémantiques ou thématiques variées (nD).

De ce fait, leur exploitation constitue un sujet complexe. Face à ce défi, l'écosystème numérique nDame vise à proposer de nouvelles modalités d'agrégation, de visualisation et d'analyse permettant de croiser efficacement les regards pluridisciplinaires portés sur un même objet d'étude. En s'appuyant sur un effort majeur de structuration et d'enrichissement sémantique, ce cadre offre aujourd'hui l'opportunité de repenser les modalités d'accès, d'interaction, et d'interrogation de corpus complexes.

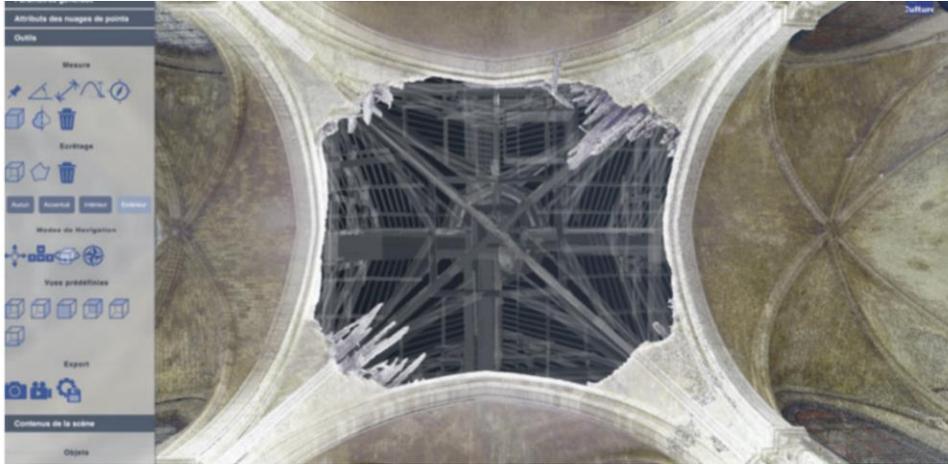


Figure 2. nd-viewer3D, vue des voutes après incendie (Violette Abergel)

### ***Notes de la présentation***

Le chantier scientifique de Notre-Dame de Paris a constitué un moment de réflexion et de réponses apportées à la nécessité de concilier des exigences étroitement liées en termes d'échelles temporelles et disciplinaires. Il s'est agi notamment de répondre à une exigence de rigueur scientifique et documentaire dans un cadre d'urgence post-catastrophique, au service d'un ensemble hétérogène de communautés disciplinaires.

Ce chantier peut être interprété comme un "laboratoire" vers la création d'un OPA, celui de la cathédrale, qui contient en soi plusieurs autres objets d'étude.

L'enjeu de concilier environnement réel et environnements virtuels, d'assurer un continuum efficace entre les objets patrimoniaux et les données virtuelles afférentes représentait un défi tout d'abord numérique.

Il est possible de différencier trois phases dans le développement d'une réponse à ce défi :

- structurer les données
- enrichir les données
- augmenter les données

## Structurer

Une première réflexion a regardé l'interrogatif de comment structurer les données produites dans un contexte d'urgence post-catastrophique. Après l'incendie, les décombres ont immédiatement été appréhendés comme des vestiges. La documentation de l'état des vestiges et leur classification s'est harmonisée avec leur processus de déblaiement. Dans cette phase, la gestion efficace d'une production massive quotidienne de photographies s'est imposée et un protocole de traitement documentaire a été établi ad hoc afin de répondre aux besoins du chantier.

Un micro-thesaurus Notre-Dame a été développé. Ici, la notion de vocabulaire est centrale, car nous avons pu combiner des vocabulaires contrôlés associés à des différents domaines pour en créer un adapté aux exigences du chantier.

Pour la création du micro-thesaurus Notre-Dame nous avons notamment combiné les vocabulaires contrôlés suivants :

- le vocabulaire "chantier" nDame ;
- le vocabulaire "métier" TAPAC, le vocabulaire contrôlé des techniques d'analyses et d'examens du patrimoine culturel des vocabulaires institutionnels.

L'exemple du projet REPERAGE est représentatif du potentiel de généralisation des méthodes du chantier Notre-Dame. Ce projet se concentre sur le repérage spatio-temporel des claveaux des nervures des voûtes effondrées à partir du corpus de photographies prises lors du déblaiement des vestiges et d'autres sources documentaires tels que les relevés en nuage de points correspondants aux différents états temporels.

Les photographies et les données sémantiques hétérogènes produites par les équipes pluridisciplinaires des chantiers scientifique et de restauration sont organisées autour du claveau individuel, ce qui permet de le repérer dans son positionnement après la chute et dans l'entrepôt de conservation des vestiges.

Cet exemple propose une méthode de suivi des éléments d'un édifice ou d'un objet patrimonial ayant subi une destruction :

- qui est alignée avec les pratiques actuelles de documentation d'un chantier de sauvetage post-catastrophe ;
- qui est généralisable, car l'écosystème est exportable, et surtout sa méthodologie. Dans le contexte d'ESPADON, cela démontre comment plusieurs outils "d'augmentation" peuvent être réunis au sein d'un même système.

## Enrichir

Le processus d'annotation sémantique n'a pas nécessairement lieu en correspondance de l'acquisition des données comme dans les cas énoncés précédemment. Au contraire, l'accumulation continue de connaissances est intrinsèque à l'OP et nécessite d'outils adaptés. La plateforme d'annotation sémantique 2D/3D Aioli répond à ce besoin.

Cette plateforme, collaborative et accessible en ligne, place l'objet physique au cœur du processus de documentation numérique et regroupe autour de l'objet des communautés d'acteurs diverses. Grâce à ce choix stratégique, il offre aux différents acteurs un point de convergence de données hétérogènes dans un même espace de représentation.

Lors de la création d'une annotation sémantique, il est demandé de l'ancrer à un élément tangible et circonscrit au sein de la cathédrale. L'annotation est constituée par :

- une couche de description sémantique qui contient des descripteurs choisis par l'utilisateur (texte, dates, chiffres, listes de valeurs, URL, ...) et des ressources complémentaires (documents, images, vidéos, son, ...);
- une couche de description morphologique de l'objet comprenant des descripteurs 'calculés' (géométrie de base, couleurs, normales, rugosité, occlusion ambiante, ...);
- une couche de description spatio-temporelle telle que la localisation spatiale et de la distribution temporelle.

Grâce à ses caractéristiques, dont celle de pouvoir créer des projets d'annotation, la plateforme Aioli contient aujourd'hui plus de 13 mille annotations.

Quel type d'annotations peut converger sur la même région virtuelle ? Dans le cas d'une chapelle, on retrouve des études diagnostiques, des constats d'état, des fiches d'analyse, des interventions de maçonnerie, des descriptions anciennes avec parfois des liens avec les matériaux source.

En conclusion, les objectifs généralisables poursuivis par cette plateforme peuvent être résumés comme suit :

- Conservation et centralisation des données (offrir un environnement pérenne aux données, réunir et articuler des données souvent distinctes)
- Rendre les données interrogeables, et implémenter des requêtes simples et complexes

- Produire des données, servant de points de départ à d'autres travaux (modèles de fondation pour l'annotation, la segmentation et la reconnaissance de formes ; caractérisation de relations de proximité temporelle, spatiale et sémantique pour l'exploration d'un corpus d'images photographiques ; intégration et localisation automatique de nouvelles images au sein de collections d'images structurées par contenu visuel...)

### Augmenter

La phase d'enrichissement tout juste décrite répond au besoin de création d'approfondissements individualisés. La phase d'augmentation se propose de rendre possible l'interrogation des données recueillies.

Afin que cela soit possible, il est primordial de fédérer les acteurs susceptibles de produire les métadonnées autour d'un environnement :

- commun ;
- dynamique, afin d'héberger différents objets et différentes dimensions temporelles, thématiques et disciplinaires ;
- flexible et adaptable aux usages méthodologiques des différentes communautés contributrices.

Comment tirer profit d'un corpus ainsi généré ? Le défi est de hiérarchiser les informations de manière à afficher pour chaque utilisateur des informations pertinentes. Plusieurs types d'interrogation sont possibles. Certaines interrogations peuvent viser une réponse exacte (le type d'interrogation où l'on "sait ce qu'on cherche").

En revanche, d'autres recherches sont plus ouvertes, et des questions apparemment simples soulèvent des problèmes techniquement complexes. Dans ce cas, il est nécessaire de faire le lien entre une requête en langage naturel et des ressources pertinentes aux yeux de l'utilisateur. Il est donc nécessaire un retour significatif en termes de contenu et de proposition de ressources que l'utilisateur n'est pas en mesure d'indiquer en amont et où l'on "ne sait pas - exactement - ce que l'on cherche".

Une autre problématique à laquelle on se confronte lors du développement d'un logiciel de consultation et interrogation de données est celle d'en assurer la traçabilité et la qualité dans le temps. Le visualisateur 3D NDP assure le lien permanent entre trois briques de notre système (Archeogrid, Opentheso et Aioli). Grâce à un lien permanent avec l'outil Archeogrid, les données chargées dans le viewer 3D restent toujours liées aux métadonnées multidisciplinaires afférentes.

L'enrichissement sémantique est un atout précieux pour la définition de stratégies de filtrage des informations. Différentes stratégies de filtrage sont possibles - proximité spatiale, sémantique, temporelle, provenance, similarité, motifs (patterns), ...

Le traitement sémantique d'un corpus de données se concrétise dans la possibilité de l'interroger, d'émettre des hypothèses et d'essayer de les vérifier. Dans le cas des claveaux, deux différentes hypothèses sur leur modalité de pose se sont succédées. Initialement, on privilégie l'hypothèse qu'une incision en forme de croix repérée sur certains claveaux effondrés était toujours orientée vers le haut lors de la pose, puis cette hypothèse a laissé la place à l'hypothèse opposée. Grâce au traitement sémantique et à la visualisation 3D, on peut simuler des possibles positionnements pré-incendie des claveaux qui s'accordent avec chaque hypothèse.

Cette modélisation conceptuelle peut être vue comme une dimension supplémentaire que l'on attribue à un OP. La convergence de données, informations et connaissances pluridisciplinaires augmente le volume d'un corpus et invite à construire de nouveaux espaces informationnels à la croisée entre 3D et domaines de connaissance. La création d'un tel type d'outils pour rendre un corpus volumineux intelligible peut être imaginé comme un enjeu de visualisation en n-dimensions.

# **Pour une stratégie pérenne et ouverte de traitement et de valorisation de données sur l'or et ses usages dans la peinture des XVIe et XVIIe siècles (programme AORUM<sup>1</sup>)**

Natacha Grim (ETIS, CYU), Romain Thomas (INHA, UPN)

## ***L'OPA décrit par les intervenants***

Le programme de recherche AORUM s'attache à étudier l'or en tant que matériau pictural dans les pratiques artistiques de l'Europe occidentale, aux XVIe et XVIIe siècles selon une perspective interdisciplinaire (histoire de l'art, histoire et physico-chimie des techniques picturales, optique). La publication des données produites et collectées par les différents groupes de travail implique la construction d'une base de données et d'une plateforme numérique adaptée à la valorisation des résultats et à l'exploration d'un vaste corpus d'œuvres.

## ***Notes de la présentation***

Le projet AORUM (Analyse de l'OR et de ses Usages comme Matériau pictural en Europe occidentale aux XVIe et XVIIe siècles), a débuté en 2021 sous l'égide de la FSP, puis de l'ANR à partir de 2022.

Il s'agit d'un projet interdisciplinaire (histoire de l'art, histoire et physico-chimie des techniques picturales, optique) qui s'attache à étudier l'or en tant que matériau pictural dans les pratiques artistiques en Europe occidentale, aux XVIe et XVIIe siècles. Il se propose de redécouvrir un corpus d'œuvres (le corpus AORUM) dans une triple perspective : historique, technique et optique. En effet, contrairement à ce que laissent entendre les prescriptions des théoriciens de la peinture des XVe et XVIe siècles (ex. Alberti et Vasari), l'or continue à être utilisé bien au-delà de la Renaissance. En témoignent certains tableaux d'artistes aussi célèbres que Rembrandt ou Vermeer.

---

<sup>1</sup> Le projet [AORUM](#) a bénéficié de l'aide de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-22-CE27-0010), de la Fondation des Sciences du Patrimoine, de l'université Paris Lumière, de l'université Paris Nanterre, du musée du Louvre, ainsi que du réseau IPERION-HS.



Pieter Jansz Saenredam, Nef de l'église Sainte-Marie d'Utrecht, 1641, huile sur panneau, 122 x 95 cm, Amsterdam, Rijksmuseum

Les objectifs de la redécouverte du corpus AORUM sont multiples :

- l'analyser selon les questionnements fondamentaux de l'histoire de l'art (iconographie, histoire sociale, histoire du goût) ;
- étudier les techniques de mise en œuvre de l'or (démarche interdisciplinaire histoire matérielle de l'art, physico-chimie des matériaux du patrimoine) ;
- étudier les propriétés optiques des dorures (interdisciplinarité histoire de l'art et optique).

La base de données est constituée par :

- les œuvres du corpus et les informations usuelles sur chacune de ces œuvres
- la description des motifs iconographiques réalisés avec des dorures pour chacune de ces œuvres
- les clichés de détails de ces œuvres
- les données physico-chimiques et optiques sur un ensemble restreint d'œuvres

La base des données est actuellement sur Microsoft Excel, avec un croisement entre les informations sur les œuvres et sur les motifs iconographiques.

Dans ce contexte, nous avons eu recours à des vocabulaires contrôlés pour deux aspects spécifiques. Un vocabulaire dédié à la description des motifs iconographiques avec dorure est en cours de construction, en intégrant le vocabulaire Getty AAT avec des termes *ad hoc*. Pour l'indexation des noms d'artistes, nous avons utilisé le vocabulaire Getty ULAN.

Notre modèle de structuration des données adhère aux principes FAIR et à la notion d'OPA du projet ESPADON.

L'ensemble de nos données est hébergé de manière distribuée. Les données convergent sur le site web du projet et pourront intégrer les projets fédératifs tels qu'ESPADON et ECHOES.

Vis-à-vis de nos objectifs de publication et de gestion de la base de données AORUM, nous nous sommes orientés vers le logiciel open source Omeka S. Ce logiciel, aligné sur les standards du web sémantique, est particulièrement destiné aux acteurs qui souhaitent publier des données liées à d'autres ressources en ligne (linked data). Il se propose de gérer les notices de métadonnées et les fichiers associés (textes, images, sons, etc.) et facilite la publication de contenus, la gestion de collections et l'éditorialisation des ressources.

Dans cette démarche, nous sommes cependant confrontés à la difficulté de concilier des perspectives opposées. Si la schématisation de concepts complexes est essentielle à la création d'une base de données exploitable et présente des avantages indéniables sur le plan scientifique et informatique, nous devons également faire face à l'exigence de préserver la richesse des différentes approches disciplinaires.

Tout le but est d'opérer entre les divers langages spécialisés des communautés contributrices, sans en banaliser les démarches, et que le développement informatique soit aligné avec cet objectif.

# Le triptyque de Venasque : un objet patrimonial à augmenter

Jean-Marc Vallet (CICRP), Sarah Boularand (CICRP), Dominique Vingtain (CICRP)

## *L'OPA décrit par les intervenants*



Image 13976NS : Sainte Marthe (détail) avant restauration, et image 1824NE-r : Sainte Marthe (détail) après restauration, triptyque de Venasque (anonyme, vers 1500) - photo CICRP-O. Guillon

Le triptyque de Venasque (anonyme, vers 1500) est un retable en bois polychrome et doré de l'Ecole d'Avignon redécouvert dans les réserves du musée du Petit Palais d'Avignon. Ayant subi plusieurs dégâts des eaux puis une forte infestation de xylophages, son état de conservation très dégradé a longtemps fait penser qu'il était impossible de le restaurer. Mais en 2013, avec l'évolution des techniques de restauration, une étude de faisabilité menée au CICRP a permis la validation d'un protocole de restauration qui a débuté en 2014 et s'est achevée en 2017. Cette restauration a été l'occasion d'approfondir les connaissances historiques et matérielles de l'œuvre par le biais d'un recueil croisé de documentations historiques, iconographiques et d'imagerie scientifique ainsi que de données analytiques obtenues sur les matériaux originaux et les restaurations anciennes. En parallèle aux analyses menées au CICRP pour l'assistance à la restauration (microscopie optique, MEB-EDX, FTIR, Raman, GCMS,  $\mu$ DRX, analyse des fibres), d'autres expérimentations dans le cadre du programme de recherche Fiat-Lux ont enrichi la connaissance de

l'œuvre par l'apport de données obtenues par photogrammétrie, RTI, caméra hyperspectrale, LIBS.

7 ans après la réintégration de l'œuvre dans le musée et son exposition au public, que deviennent ces données ? Comment les faire vivre ensemble, les consulter, les enrichir par de nouvelles données ? Comment et pourquoi créer un double numérique ?

### ***Notes de la présentation***

Le triptyque de Venasque est aujourd'hui exposé au musée du Petit Palais d'Avignon après avoir fait l'objet d'un important chantier de restauration au CICRP entre 2014 et 2017.

Une première restauration avait eu lieu en 1942 dans les récents ateliers de restauration du Louvre, dirigée par L. Aubert qui réalisa entre autres la réintégration de grandes lacunes sur la face peinte, incluant notamment la réintégration du visage de Sainte Marthe et de son livre malinterprété.

Toutefois, une série de sinistres plus récents dont un nouvel épisode de dégâts des eaux en 1988 et plusieurs infestations de xylophages avaient réduit le retable dans un état de fragilisation extrême. Déclaré en trop mauvais état pour être présenté au public et conservé en réserve depuis 1976, il était considéré comme non restaurable jusqu'à l'étude de faisabilité de 2013 qui démontra les bienfaits attendus d'une restauration fondamentale. Celle-ci, étant à l'origine d'un approfondissement de la connaissance du retable sur de nombreux aspects, a constituée l'occasion et l'outil d'une véritable relecture de l'œuvre.

L'étude iconographique, notamment de saint Pierre (caractérisé par des éléments de création de continuité entre les panneaux à la fois verticalement et horizontalement) et de sainte Marthe (figure de débat médiéval sur les genres de vie contemplative et active), a révélé un message à la glorification de la chrétienté et de la vie active au service de la foi. Ce triptyque très représentatif des retables peints à Avignon et en Provence à la fin du XVe siècle et au début du XVIe siècle se caractérise par un métissage technique et stylistique, qui en fait une œuvre témoin d'une époque de fortes mutations sociales au tournant du siècle.

La restauration a été précédée et assistée par une vaste étude scientifique :

- Etude du support bois et compréhension du montage du retable : les éléments de structure, les éléments décoratifs et de renfort ainsi que leur assemblage.
- Détermination de la palette picturale des techniques originales (pigments, dorures, etc.) et des processus de dégradations des matériaux originaux.

- Etude des matériaux des restaurations anciennes (3 restaurations postérieures au XIXe s).
- Comparaison des matériaux et techniques de différents éléments (médaillons, blasons et encadrement du superciel) pour confirmer leur chronologie d'exécution par rapport au reste du triptyque.

Le triptyque de Venasque était aussi l'un des cas d'étude du projet CNRS FIAT LUX, qui visait à créer un environnement numérique (en utilisant le prototype Aioli) pour la fusion et la spatialisation de données expérimentales hétérogènes allant du macroscopique au microscopique.

L'ensemble des données produites par des acteurs de différentes spécialisations peut être structuré autour de six grands axes : histoire, histoire de l'art, iconographie, restauration, matérialité, conservation.

Le rapport entre les sources des données autour de l'œuvre est visualisable en forme d'étoile : la donnée source est à l'origine de la connaissance qui est traduite, interprétée et mise en perspective avec d'autres éléments de connaissance pour produire de nouvelles données. Par conséquent, la mise en relation de données hétérogènes enrichit et assiste l'approfondissement sur chaque volet disciplinaire.

En conclusion, dans la perspective de rendre le Triptyque de Venasque un OPA, l'expérience de ce chantier soulève des points-clés utiles au développement de l'objet patrimonial augmenté :

- L'OPA est issu de, et pensé pour, un dialogue interdisciplinaire entre les professionnels et avec le public.
- L'espace commun de l'OPA fait face à une problématique d'intégration de données d'anciennetés différentes, structurées dans des formats différents, sujets à obsolescence et à des potentielles difficultés de conservation.
- L'OPA rend possible l'intégration de différentes techniques d'acquisition.
- Il convient d'organiser l'accès aux données sur des différents niveaux et d'en distribuer le stockage.
- Finalement, il faut envisager pour l'OPA la possibilité d'être enrichi par de nouvelles données.

# Résumé non exhaustif des échanges entre intervenants et public

Le chantier scientifique de Notre Dame représente un exemple pour ESPADON dans sa méthodologie, même au sujet de l'expérience sur les impasses et les écueils rencontrés.

La centralisation des données au même endroit s'est révélée parfois peu pertinente. Travailler sur l'interopérabilité des systèmes a contribué à résoudre cette problématique car la centralisation des données alourdit l'exécution des tâches. Les utilisateurs ont parfois manifesté une forme d'auto-inhibition au moment d'exprimer leurs besoins, ou bien d'appréhension.

Aussi, l'aspect de co-construction a présenté des difficultés, surtout dans l'absence d'un prototype de départ.

On est confronté aussi à la difficulté de trouver un langage commun et de ne pas se décourager. Il a été important de comprendre aussi les attentes des spécialistes du numérique.

Il semble parfois problématique de définir de manière suffisamment générale ce qu'est l'objet. Comment traiter l'objet avant son entrée dans la cathédrale et après sa sortie ? La spatialisation 3D et sa vue synchronique introduisent des biais à neutraliser.

La notion d'ensemble d'objets est déjà complexe sans la dimension temporelle. Il faut baliser l'objet dans le temps et dans l'espace. Quant aux limites temporelles qui définissent l'objet, il s'agit d'une question ouverte. Certains objets sont déclarés patrimoniaux à une certaine étape de leur existence.

Dans ce cadre, les thésaurus et les équivalences/ référentiels se révèlent particulièrement utiles. Dans le cas de Notre Dame, il a été question par exemple de trouver les correspondances de nomenclature des lieux (la même chapelle est identifiée par des noms différents entre différentes communautés).

Comment appliquer une approche comme celle de ND à des petits chantiers (plus limités par la question du rapport cout/bénéfices) ? La vocation d'ESPADON est justement de généraliser un outil inspiré par un contexte exceptionnel comme le chantier Notre-Dame à d'autres situations et de dépasser les difficultés de prise en main d'opérateurs extérieurs au projet d'origine.

L'OPA devrait inclure une dimension épistémologique.

On peut reconnaître une tendance centrifuge des équipes de recherche qui se penchent sur une œuvre à créer chacune une OPA qui reflète leur approche et qui s'oppose à la nécessité d'un objet unique. Pour la même œuvre, la nature changeante des commanditaires des études et de leurs objectifs introduit des différences méthodologiques pour les différentes études réalisées sur le même objet patrimonial. Une possible réponse dans la sélection des priorités pour différents utilisateurs peut être des choix de visualisations adaptés à différents objectifs et spécialités.

Ce type de problématique peut être pallié par l'adoption d'une méthodologie soignée de mise à disposition de données (méthodologie des référentiels, notamment les référentiels mis à disposition par le ministère de la Culture). Du moment où il est difficile de prévoir l'usage qui sera fait des données, il convient de se concentrer sur la méthodologie de leur diffusion.



## **II - La fabrique de l'augmentation...**

# Les pavements en terre cuite, de leur dépose à leur nouvelle exposition, l'exemple de Saint-Martin-d'Hardinghem

Natacha Frenkel (Atelier Art's du feu – CY)

## *L'OPA décrit par les intervenants*



Photographies réalisées par Natacha Frenkel (Atelier Art's du feu – CY)

Le pavement par des carreaux en terre cuite est un art fonctionnel lié à l'architecture. Un pavage, un dallage, une mosaïque, un carrelage sont à l'origine un procédé de pavement ayant pour but d'assainir le sol d'un bâtiment et d'être un élément de confort, tandis que son l'ornementation présente des orientations culturelles, politiques ou religieuses.

Ces pavements, nécessitant des matériaux coûteux et des ouvriers spécialisés, sont l'apanage des grands édifices religieux et des habitations princières. Pendant longtemps les ensembles ont été pour la plupart détruits et les carreaux dispersés et collectionnés de manière individuelle. Or il est essentiel de définir le carreau comme un élément d'un module décoratif plus large composé de plusieurs individus, qui lui-même se combine à d'autres modules architecturaux. Deux ensembles de pavements, respectivement de 144 m<sup>2</sup> et 53 m<sup>2</sup>, ont été découverts en 2016 lors

d'une fouille archéologique dans une résidence de campagne des évêques de Thérouanne située à Saint-Martin-d'Hardinghem dans le Pas-de-Calais, sur les bords de l'Aa. Les pavements, datés XIII e -XIV e siècles, recouvraient les sols de la salle d'apparat et d'une galerie-couloir attenante. La dépose s'est déroulée en 2017 et la restauration a commencée en février 2021.

### ***Notes de la présentation***

C'est à l'occasion d'un chantier de fouilles préventives que la découverte des vestiges d'une résidence épiscopale médiévale située à Saint-Martin d'Hardinghem (Nord-Pas-de-Calais) a lieu. Parmi les vestiges, deux amples pavements de carreaux en terre cuite en bon état de conservation sont qualifiés avec la notion de "découverte exceptionnelle". Les pavements, l'un appartenant à une grande salle et l'autre à la galerie attenante, sont constitués de carreaux en terre cuite émaillés en six couleurs, alternants des modules monochromes et des décors figuratifs très variés. Plus de dix mille carreaux ont été déposés en 2017 en vue d'un chantier de restauration qui a commencé au début du 2021. A ce jour, environ 4000 carreaux de la grande salle ont été restaurés.

Le chantier de restauration compte de nombreux passages. Les carreaux, parfois fragmentés, sont documentés individuellement. Ils sont pris en photo avant le traitement de restauration, puis nettoyés. Les fragments sont collés et leur forme carrée reconstituée. Plusieurs types de retouches de couleurs sont envisageables (notamment la reprise des motifs figuratifs). Les carreaux sont ensuite transportés sur le site de remontage. Collés à plat sur un support rigide de manière à recomposer leur emplacement, leur isolement est assuré par une résine époxy.

Plusieurs hypothèses de restitution des lacunes entre carreaux sont possibles et la concertation avec les conservateurs est constante (Mme Laëtitia MAGGIO, DRAC Archéologie ; Mr Simon DUCROS, DRAC Monuments Historiques ; Mr Franck TETARD, CAO).

Une fois les phases de restaurations et réassemblage terminées, les pavements ont vocation à être exposés devant le public. Les modes et le lieu de l'exposition définitive restent à établir.

Les trois axes proposés pour cette journée trouvent des possibles développements spécifiques sur un ensemble patrimonial tel que celui de Saint-Martin d'Hardinghem. Des approches de traitement numérique des données pourraient assister :

- la restauration avant dépose, vis à vis de la conservation les informations in-situ, ainsi que la repose des éléments ;

- la rédaction des constats d'états à l'aide de relevés numériques ;
- la restitution en 3D du contexte architectural originaire des pavements.

Des connaissances approfondies en termes d'outils et méthodes de caractérisation des matériaux de l'OPA pourraient aider :

- l'optimisation d'un protocole d'acquisition de données de surface des pavements avant dépose ;
- l'élaboration de procès analytiques des matériaux constitutifs des carreaux et de leurs décors.

Finalement, les questions de l'impact climatique de la patrimonialisation et du développement durable se posent particulièrement au sujet du lieu définitif d'exposition des pavements. Quel impact si lieu d'exposition était un autre objet patrimonial, comme une ancienne église ? Quels matériaux choisir pour le conditionnement et le transport ?

# Archéométrie et ingénierie inverse pour reconstituer le savoir-faire des horlogers d'antan au 17ème siècle : les projets Simon Le Noir et ArcheHor

Augustin Gomand (CHRONOSPEDIA)

## *L'OPA décrit par les intervenants*

Cette présentation s'intéresse au projet Simon Le Noir, dédié à l'étude d'un artefact particulier : le mécanisme d'horloge signé Simon Le Noir, qui pourrait être l'un des tous premiers à avoir été équipé d'un oscillateur pendulaire. Ce mécanisme a été analysé par diverses méthodes scientifiques pour en reconstituer les techniques de fabrication, et comprendre comment les horlogers du XVIIe siècle sélectionnaient les métaux en lien avec les contraintes diverses auxquelles sont soumis les mécanismes d'horlogerie. Cette étude prépare un autre projet, ArcheHor (Archéométrie pour l'Horlogerie), qui vise à généraliser la méthode appliquée au mécanisme de Le Noir aux pièces d'horlogerie de toutes époques et origines géographiques, de manière à reconstituer scientifiquement l'évolution des techniques horlogères et des instruments de mesure du temps à travers le temps, jusqu'à l'ère industrielle qui voit l'apparition d'une standardisation dans les méthodes de production et les matériaux employés.



Photographies réalisées par Augustin Gomand (CHRONOSPEDIA)

## ***Notes de la présentation***

Le projet Chronospedia est un projet humaniste de préservation et de transmission du savoir-faire horloger qui regroupe environ quarante instituts en France, entre musées, établissements d'enseignement et instituts de recherche. Le projet Simon Le Noir s'inscrit dans les travaux de Chronospedia et a été initié en octobre 2020 à la suite de la découverte d'un mécanisme signé Simon Le Noir.

L'intérêt de ce mécanisme consiste dans le fait que Simon Le Noir pourrait avoir été le premier à appliquer le pendule aux horloges en France, et que ses différences significatives avec les premières horloges françaises à pendule connues semblent confirmer cette anecdote. Nous nous intéressons donc à étudier ce mécanisme d'un point de vue historique, afin de le situer dans l'histoire de l'horlogerie, ainsi que technique, stylistique et scientifique.

L'analyse du mécanisme de Le Noir avait pour objectif principal de l'authentifier ou d'identifier les éventuelles pièces apocryphes. Cependant, le problème de l'authentification est un enjeu important en horlogerie. Classiquement, les horloges sont authentifiées en analysant l'architecture du mécanisme, son style et ses techniques de fabrication d'un point de vue macroscopique. Toutefois, cette discipline souffre d'une pénurie de sources documentaires : les techniques anciennes sont peu documentées car le savoir-faire était transmis principalement par voie orale et au sein de cercles restreints, et les premiers traités d'horlogerie sont publiés au XVIIIe siècle. Face à un perfectionnement dans la fabrication des faux au XXe siècle, la quasi-absence de sources bibliographiques primaires rend difficile d'authentifier un mécanisme. On adopte donc une approche archéologique et d'ingénierie inverse : reconstituer le savoir-faire horloger en analysant directement les mécanismes. Le mécanisme de Le Noir sert ainsi d'objet "témoin" pour la mise en place de protocoles archéologiques appliqués aux mécanismes d'horlogerie.

Nous avons réalisé plusieurs types d'analyse scientifiques sur le mécanisme de Le Noir : examens au microscope optique / électronique, tomographies, analyses de composition élémentaire par fluorescence via SEM-EDX, XRF, PIXE.

Une démarche d'ingénierie inverse et de comparaison avec une source bibliographique sûre (un manuscrit découvert dans les papiers du savant John Evelyn) a finalement permis de reconstituer l'ensemble du séquentiel de fabrication de plusieurs pièces du mécanisme et de confirmer leur authenticité.

Une étude archéométrique a aussi été réalisée afin d'éclaircir des liens entre composition des matériaux et stratégies de mécanique horlogère, pour mieux

comprendre comment les horlogers choisissaient leurs métaux selon les usages et les raisons qui guidaient leurs choix. Dans le cas de Le Noir, par exemple, les pièces dorées contiennent généralement très peu de plomb, alors que les pièces non dorées contiennent du plomb en quantité variable. Ce choix peut être expliqué avec la tendance du laiton pauvre en plomb à limiter la formation de points sous la dorure.

Afin de dégager des tendances plus générales dans les usages de fabrication, il est nécessaire d'étendre cette méthode d'analyse à d'autres mécanismes. Le projet ArcheHor (Archéométrie pour l'Horlogerie) se propose de systématiser l'analyse scientifique des horloges anciennes pour constituer une base de données qui permettra de caractériser l'évolution des techniques, des matériaux, des conventions esthétiques en fonction des époques et des pays.

Néanmoins, l'objectif du projet ArcheHor de créer une base de données est limité par une série de facteurs.

- Une disponibilité réduite d'objets à analyser. Dans ce sens, la création d'un laboratoire mobile, capable de se déplacer vers les objets à analyser, pourrait être bénéfique.
- Les ressources humaines et expérimentales sont actuellement limitées par l'absence de partenariats formels.
- La nécessité de la définition d'un protocole opératoire généralisable, objectif, reproductible. En ce sens, un premier protocole a été testé sur un autre mécanisme d'Isaac Thuret en partant des résultats observés chez Le Noir.
- Vis-à-vis de la base de données, une base de données de référence profiterait aussi d'une action de regroupement des données existantes et des méthodes pour son interrogation.

D'autres analyses scientifiques seraient pertinentes pour l'objectif d'ArcheHor d'élucider les choix de fabrication et des matériaux, notamment la diffraction des rayons X (XRD) et la spectrométrie de masse LA-ICP-MS.

Une dernière problématique que le projet ArcheHor rencontre est celle de pérenniser les données. Il est nécessaire de remplacer les formats propriétaires (notamment les données de tomographie réalisées par Zeiss, qui sont lisibles uniquement avec le logiciel Zeiss dédié). On risque de perdre un volume important d'informations dans l'absence de moyens de conversion des formats propriétaires en formats libres.

# Les cadastres d'Orange : des objets à augmenter. Edition, épigraphie et territoire de documents cadastraux de la colonie romaine d'Orange.

Laurent Costa (CNRS, ArScAn), Ricardo González Villaescusa (UPN, ArScAn), Marlène Nazarian (CNRS, ArScAn), Céline Tomczyk, IRAMAT, Esther Vidal (Chercheuse indépendante Infographie et modélisation 3D)

## ***L'OPA décrit par les intervenants***

Les cadastres d'Orange, monument épigraphique affiché dans l'ancienne colonie d'Orange, représentent les propriétés foncières des territoires des colonies romaines de la basse vallée du Rhône lors de la réforme fiscale de l'empereur Vespasien. Édité par André Piganiol en 1962, les textes informent sur les noms de propriétaires, le prix du bail, et sa position relative dans l'espace et parmi les accidents géographiques et topographiques du territoire. Le projet de mettre en valeur ces documents en marbre essaye de proposer une réédition de l'ouvrage de Piganiol avec toutes les informations connues et celles qui peuvent être apportées aujourd'hui à travers l'archéométrie, la modélisation 3D, l'archéogéographie, la géoarchéologie et la projection dans l'espace géographique de ces objets uniques de l'arpentage et de la fiscalité d'antiquité romaine.



Modélisation 3D réalisée par Esther Vidal Ros (Chercheuse indépendante Infographie et modélisation 3D).

## **Notes de la présentation**

Notre proposition d'objet patrimonial à augmenter porte dans un premier temps sur trois fragments en marbre qui composaient un plan cadastral de la colonie romaine d'Orange sous Vespasien (77 ap. J.-C.) conservés au Musée d'Archéologie Nationale de Saint-Germain-en-Laye. Il s'agit des trois premiers fragments découverts parmi ceux qui sont aujourd'hui répertoriés. Ils ont été découverts à la fin du XIXème siècle et déposés au Musée d'Archéologie Nationale.

En particulier, le fragment (réf. MAN 33262 - CIL 1244), étudié par André Piganiol traite d'un carré de 50 ha. Son intérêt est majeur, car on peut y reconnaître plusieurs caractérisations :

- la localisation géographique de localisation (par rapport aux cardines et decumani) ;
- la surface du lot accordé ;
- les noms des colons romains adjudicataires, en tant que terrains expropriés aux autochtones ;
- des accidents topographiques comme la présence d'une voie ou d'un fleuve...

Les recherches des années 80-90 ont permis de localiser les parcelles qui y sont mentionnées dans la vallée du Rhône et plus précisément, dans le cas de ces trois fragments, sur la voie d'Agrippa au nord d'Orange.

Concernant l'utilisation de technologie numérique pour un plan de même nature, le projet Stanford Digital Forma Urbis Romae Project (<http://formaurbis.stanford.edu/>) est un modèle à suivre. Il a été réalisé à l'université de Stanford dans la période 2002-2016 et il est dédié à l'exploration d'un plan de Rome sculpté autour du 200 après J.-C., le plan Forma Urbis Romae.

Puis, dans une deuxième phase, nous avons travaillé sur l'ensemble des documents cadastraux conservés au Musée d'art de d'histoire d'Orange. Notre recherche s'est concentrée sur des études de :

- Photogrammétrie, qui a mis en évidence les reliefs et les écarts de niveau sur la surface des fragments
- Caractérisation de l'enduit déposé sur les fragments par caméra multispectrale. Deux composants ont été révélés pour l'enduit. Ils sont compatibles avec un fond et une couleur contrastant pour les traces écrites.
- Microscopie électronique à balayage, scansion 3D

En conclusion, la perspective d'augmenter cet ensemble patrimonial suggère plusieurs pistes.

L'application des technologies digitales (OPA / jumeaux numériques) rendrait possible :

- des traitements automatiques sur la matérialité de l'objet (morphologie, travail du lapicide...);
- l'exposition virtuelle de l'objet en attendant une restauration (nécessaire) ;
- des expositions itinérantes ;
- un plus large partage des informations disponibles avec la communauté scientifique (l'esprit « open data » et « science ouverte »).

Une première application de méthodes analytiques a déjà montré que le support peut nous parler davantage sur :

- La réalisation des marbres
- L'exposition des cadastres

Les procès d'augmentation peuvent aussi aider à approfondir la question des couleurs originaires et les différences entre les trois distincts cadastres aujourd'hui exposés dans le forum ou le tabularium de la colonie d'Orange.

# Résumé non exhaustif des échanges entre intervenants et public

Le cas des pavements de Saint-Martin-d'Hardingham repropose l'influence du commanditaire sur la méthodologie : gérer l'urgence implique de ne pas acquérir certaines données.

Le format du constat d'état, souvent en format pdf, s'avère parfois insuffisant du point de vue descriptif. Les archives privées des restaurateurs peuvent compléter la description.

Dans le cadre de l'acquisition des données *in situ*, un autre questionnement se pose à l'égard de la sélection des données à transmettre.

Une difficulté dans le cas de Saint-Martin-d'Hardingham est évoquée : la spatialisation non aboutie des motifs à partir des photos individuelles. Un manque d'outils a engendré une frustration partagée par le groupe et l'institution. La liaison entre la position lors du prélèvement et la position de restitution finale risque d'être perdue pour faute de compétences spécialisées dans l'équipe. La collaboration avec le LRMH pour les prochaines photos pourrait assister cette opération.

Mme Frenkel indique la date de décembre 2025 pour une possible intervention d'ESPADON sur les pavements de Saint-Martin-d'Hardingham, à l'occasion de leur réassemblage et de l'exposition temporaires dans le grand atelier de restauration. Ce serait l'occasion pour prévoir des interventions scientifiques d'équipes ESPADON. Puis l'œuvre sera désassemblée et recomposée seulement pour son exposition finale, dont la date n'est pas définie.

Idée d'exploitation numérique : lors de la restauration, nous avons eu accès à une vision très rapprochée de chaque carreau. Ce niveau de détail sera perdu une fois l'œuvre assemblée. Il conviendrait de géolocaliser les carreaux. Chaque motif présent pourrait être cartographié (sirène, fleurs de lys...).

Dans le cas des cadastres d'Orange, la spatialisation est à appréhender de manière tout à fait différente car les proportions n'y sont pas conservées. La valeur agronomique altérant les proportions, on pourrait considérer le cadastre comme un graphe.

On peut souligner un intérêt à l'augmentation des objet patrimoniaux sur le volet de de l'implication du public. Des approches numériques pourraient faire comprendre l'intérêt des objets via la représentation des connaissances de terrain qui vont rendre l'objet intelligible.

# Synthèse de la journée : vers une feuille de route

## Résumé non exhaustif :

Participants en ordre d'intervention : Romain Thomas (INHA, UPN), Olivier Malavergne (CNRS/LRMH), Vincent Detalle (SATIE, CYU), Philippe Jockey (UPN, ArScAn), Ricardo González Villaescusa (UPN, ArScAn), Laurent Costa (CNRS, ArScAn), Augustin Gomand (CHRONOSPEDIA), Rémi Petitcol (FSP)

Il semble opportun de repenser à la définition d'OPA à la lumière de ses différentes typologies, ainsi que de revoir les typologies Mediapat. Il peut s'avérer complexe de délimiter de manière univoque l'objet, car il est susceptible de comprendre des sous-objets et en raison de la temporalité qui lui est associée (ex : des chapelles peuvent changer de nom ou être modifiées).

Comment répondre au débat OPA - jumeau numérique ?

D'autres points de questionnement regardent :

- La mise à disposition des outils (par exemple des vocabulaires).
- La formation : comment aider la communauté à adopter les outils en cours de développement ?
- La richesse des informations qui seront mises à disposition. On peut rappeler le principe énoncé par Mme Abergel : plus grand est le volume d'informations, moins il est intelligible. Quels critères sont prioritaires à partir du moment de l'acquisition des données et tout au long de leur cycle de vie ?

Concernant le partage des vocabulaires : la possible fusion de l'espace Opentheso Notre Dame et ESPADON pose des questions institutionnelles de gouvernance. Afin de garantir la qualité des données, il conviendrait de réfléchir à un système de validation.

L'outil pour le constat d'état développé au sein d'ESPADON a déjà été présenté à la FFCR et davantage d'évolutions sont en cours.

Des initiatives de formation continue sur les outils et les concepts seront nécessaires.

Sur le débat OPA-Digital Twin : l'OPA inclut aussi des aspects 3D, l'ensemble des connaissances autour de l'objet (y compris des éléments de spécialité scientifique,

des catégorisations d'information spécifiques, la dimension médiation, formation, SHS). Ces éléments sont essentiels dans l'augmentation et permettent la création de connexions.

On peut s'interroger sur la distinction entre sous-objets et nouveaux objets issus d'un éclatement d'un objet central (avec l'inclusion d'une dimension historique). Autour de la définition d'augmentation, l'enrichissement de nos démarches est aussi en lui-même une augmentation de l'objet. Un excès de normes (de vocabulaire) pourrait limiter la création de connaissances. Dans ce sens, Opentheso et l'alignement des thesaurus multilingues jouent un rôle essentiel. ESPADON doit fournir des outils pour l'annotations et l'enrichissement sémantique. Il est important de rappeler la préconisation du chantier scientifique de Notre Dame mentionnée par Mme Abergel : "ne pas imposer de bascule épistémologique majeure", respecter les approches épistémologiques de chaque communauté. Le lien avec la question du commanditaire (qui influence aussi la méthodologie) devra être maintenu. Les solutions de visualisation joueront un rôle important, ainsi que les initiatives de formation.

Il existe un fil conducteur entre gestion, pérennisation et préservation des données, qui suggère de les associer dans la même démarche. Une problématique supplémentaire est posée par la perspective de préserver des données conservées en formats propriétaires.

Une dimension supplémentaire par rapport aux vocabulaires est celle des référentiels capteurs. Les données conservées posent aussi un enjeu de soutenabilité et de gouvernance. Comment sélectionner ce que l'on préserve ? Comment inscrire ces choix dans le temps long ?

Le même débat au sein d'ECHOES pourra fournir des pistes.

En horlogerie il y a très peu d'approche historique en faveur d'approches techniques. Ce genre de dialogue interdisciplinaire peut faire comprendre l'intérêt d'analyses expérimentales mais aussi SHS.

À l'OPA est associée une chaîne de valeur (économique, sociale, politique, etc.) qui dépasse la somme de la valeur de chaque brique de connaissance. Les industries culturelles et créatives pourraient être impliquées.

De ces riches discussions on peut dégager les points suivants qui ont vocation aider à tracer les premiers contours d'une feuille de route :

## **Esquisser les contours d'une feuille de route**

### **Redéfinition de l'objet patrimonial augmenté (OPA)**

Les présentations et échanges ont permis de réaffirmer la complexité des objets patrimoniaux, souvent composés de sous-objets, fragmentés ou transformés au fil du temps.

L'OPA se distingue du "jumeau numérique" tel que défini dans les sciences du numérique. Il est conçu comme un objet à entrées multiples (typologiques, historiques, spatiales, sociales, etc.) et porteur d'épaisseurs sémantiques. La question du statut de l'objet en tant que construction dynamique reste centrale.

### **Outils et plateformes**

Plusieurs besoins concrets ont été identifiés, tels que : la mise à disposition de plateformes instrumentales (mobilisables sur le terrain) ; l'accès à des vocabulaires structurés via la plateforme Opentheso ; le développement d'une "boîte à outils" (annotation sémantique, constat d'état, etc.). Un calendrier de formation et de tutoriels doit être prévu d'ici l'été 2025 pour accompagner les usages.

### **Formation et accompagnement**

La montée en compétence des différents acteurs est un enjeu clé. Il est recommandé de structurer un dispositif de formation à plusieurs niveaux : Initiation à la logique des outils (conservateurs, chercheurs, techniciens) ; formation aux vocabulaires (aspects normatifs, multilingues, souplesse d'usage). Le développement de tutoriels associés aux outils est souhaitable.

### **Vocabulaires et gouvernance**

Le partage des vocabulaires est un levier d'interopérabilité. Toutefois, leur gouvernance doit être clarifiée sur les trois aspects suivants : mécanismes de validation et d'évolution ; respect de la diversité disciplinaire et linguistique ; ouverture à l'enrichissement collaboratif.

### **Gestion des données et surcharge informationnelle**

La richesse des données peut nuire à leur intelligibilité. Il convient donc de définir des priorités de conservation et de transmission. Elles passent par la sélection des

données pertinentes ; une réflexion sur la soutenabilité écologique des stockages ; l'intégration d'une "vigie carbone" dans la feuille de route.

### **Protocoles comme objets patrimoniaux**

Le protocole même d'augmentation (modalités, outils, démarches) est considéré comme un objet patrimonial à part entière, témoin des pratiques scientifiques et patrimoniales.

### **Variabilité des commanditaires et des méthodologies**

L'objet final est fortement conditionné par son commanditaire. Cette diversité implique une souplesse dans les méthodes et une attention à la non-imposition de "basculé épistémologique".

### **Coopérations, indépendance et stratégie**

Les coopérations avec des acteurs privés sont envisageables (ex : Dassault Systèmes), mais doivent s'accompagner d'une gouvernance publique forte pour garantir l'indépendance et la protection des données.

### **Propositions d'organisation**

Création d'une boîte aux lettres OPA (point d'entrée unique) ; planification d'éditions régulières ; communication renforcée autour des outils et avancées (site web, démonstrateurs).

**Prochaine étape : une nouvelle édition de l'objet patrimonial à augmenter à l'automne 2025.**