

Soutenu
par



**MINISTÈRE
DE LA CULTURE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



CHRONOSPEDIA

LE PROTOTYPAGE DE LA SAUVEGARDE NUMÉRIQUE DE L'HORLOGERIE ET SA PRÉSENTATION MUSÉALE, EN S'APPUYANT SUR LE CAS DE L'HORLOGE COMTOISE COMME DÉMONSTRATEUR

Projet « Service Numérique Innovant » du Ministère de la Culture : Étude des usages

Rapport Final
SNI 2022

Table des matières

1. Introduction3

1.1 Contexte3

1.2 Enjeux et objectifs4

2. Stratégie et déroulé du projet5

2.1 Principaux résultats5

2.2 Présentation du site CHRONOSPEDIA sous OMEKA-S et visualisation 3D6

2.3 Structuration de la collaboration et partenaires principaux8

3. Étude utilisateurs10

3.1 Feedback des utilisateurs de l'ESR10

3.2 Points positifs13

3.3 Difficultés dans la réalisation du projet13

4. Bilan et conclusions14

1. Introduction

L'actuel projet représente un premier test de création d'une base de données hétérogène avec une part importante consacrée aux modèles mécaniques 3D et vise à contribuer aux développements des nouvelles méthodes de sauvegarde et de transmission du savoir et du savoir-faire, appliqués à l'horlogerie mécanique.

1.1 Contexte

L'évolution de l'industrie horlogère mécanique française et mondiale a induit le fait qu'aujourd'hui la quasi-totalité de cette activité est destinée à la production de montres. Ainsi dans les écoles d'horlogerie, toute la partie concernant les pendules et horloges (moyen volume) et encore plus l'horlogerie d'édifice (gros volume) n'est presque plus enseignée. Si rien n'est fait, le savoir-faire horloger pour ces deux branches historiques du métier aura disparu d'ici quelques années, lorsque les derniers horlogers formés « à l'ancienne » partiront à la retraite. Le problème est encore plus prégnant pour le diagnostic de panne, sans lequel aucune intervention ne saurait être pertinente, mais qui n'est plus abordé dans le cursus actuel.

De plus, les ouvrages techniques publiés depuis 200 ans sont très rares, ceux qui subsistent ne sont pas suffisamment explicites, avec des illustrations limitées en 2D, et il est parfois complexe de saisir ce qui fut écrit par des horlogers, il y a plusieurs siècles. Au-delà de la perte de connaissance, c'est tout un pan du patrimoine qui ne pourra plus être entretenu. L'enjeu majeur est donc de structurer et de transmettre aux générations futures ce savoir et ce savoir-faire horloger historique.

La solution du problème a été esquissée dans une série d'expérimentations menées depuis plus de 20 ans par François Simon-Fustier¹, l'Horloger de la Croix-Rousse, Maître d'Art en Horlogerie. En parallèle de sa pratique quotidienne de restauration de mécanismes du XVII et du XVIIIème, il a développé une expérience significative de l'utilisation de la 3D dans l'horlogerie ancienne. Cette expertise a été validée au cours des nombreuses collaborations en France comme à l'étranger pour la sauvegarde du patrimoine horloger : Château de Vaux-le-Vicomte, Château de Versailles, Musée d'Horlogerie et de décolletage de Cluses, Musée du Temps de Besançon, Palais National de Mafra au Portugal, ... Il s'agit de l'usage de la modélisation en 3D qui débouche également sur la réalité virtuelle et la réalité augmentée. Ces approches nouvelles permettent de créer des exemples numériques des mécanismes horlogers anciens reproduisant à la fois leur apparence et leur fonctionnement.

Nonobstant le fait que le nombre d'horloges mécaniques produites dans le monde depuis leur invention se compte en millions, le nombre de types des mécanismes horlogers réellement différents reste assez limité. Une trentaine de familles de modèles 3D pourrait raconter et transmettre une très grande partie du savoir-faire horloger français et mondial.

L'importance de l'effort de sauvegarde du savoir-faire horloger a été soulignée et reconnue par l'UNESCO qui a inscrit le 16 décembre 2020 le savoir-faire en mécanique horlogère et mécanique d'art à la Liste représentative du patrimoine culturel immatériel de l'humanité². La mission principale de CHRONOSPEDIA est la sauvegarde et la transmission du savoir-faire horloger pour les générations futures. Cette démarche nécessite de repenser

¹ <https://www.youtube.com/watch?v=2-cz4kPkO2Y&t=3s>

² <https://ich.unesco.org/fr/RL/les-savoir-faire-en-mecanique-horlogere-et-mecanique-d-art-01560>

totale la construction d'une archive à l'aune des éléments divers qu'elle peut désormais intégrer (3D, sons, ...) et d'imaginer des outils de transmission modernes qui s'appuient sur les dernières innovations (réalité virtuelle, réalité augmentée, ...). Mais on doit également veiller à ce que ces contenus restent ouverts et pérennes. ÷ Nous travaillons donc avec des spécialistes de la sauvegarde pérenne, des chercheurs sur l'interopérabilité des bases de données, et d'autres sur les fichiers et logiciels libres.

On débouche ainsi sur le concept de CHRONOSPEDIA : une base de données numérique libre d'accès dont le contenu s'appuie fortement sur les modèles 3D mais inclut d'autres éléments comme les fiches d'inventaires des musées, des documents écrits, des vidéos, des enregistrements sonores, un recueil des pannes connues,... Tous ces outils intégrant au maximum la réalité virtuelle pour être clairs et directement ouverts à l'international.

CHRONOSPEDIA collabore étroitement avec des structures qui œuvrent également pour la sauvegarde du savoir-faire horloger et qui ont des approches très complémentaires comme The Watch Library³ qui travaille sur la numérisation et l'archivage des documents papier (imprimés ou manuscrits) avec l'accent mis sur la montre ou Arc Horloger⁴ une structure franco-suisse qui vise à réunir durablement les différents porteurs de savoir-faire, à les accompagner dans la sauvegarde et la transmission de leurs pratiques.

1.2 Enjeux et objectifs

L'enjeu majeur du projet est de sauvegarder et transmettre le savoir et le savoir-faire horloger qui est en train de disparaître en France en profitant des nouveaux outils qui commencent à émerger et se démocratiser progressivement (3D, réalité virtuelle et réalité augmentée, ...).

Un deuxième enjeu est de rendre public toutes les données et tous les développements méthodologiques faits dans le cadre de ce projet. C'est un enjeu qui est d'autant plus complexe et contre-intuitif pour beaucoup d'interlocuteurs de ce projet, qu'historiquement les horlogers gardaient soigneusement leurs secrets de construction et de réparation des mécanismes. La démarche d'open access tellement naturelle dans le monde de la recherche publique est à l'inverse des habitudes historiques horlogères.

On peut mentionner 3 objectifs principaux du projet :

- Vérifier la faisabilité d'une encyclopédie avec un contenu hétérogène basé sur la 3D dont les objets sont des objets dits dynamiques⁵ et qui nécessitent des développements très spécifiques qui n'existent pas, par exemple, dans les collections 3D des artefacts archéologiques.
- Identifier les verrous technologiques, méthodologiques, voire relationnels qui peuvent empêcher la construction d'une telle encyclopédie (base de données).
- Compte tenu du caractère très innovant des développements nécessaires pour la mise en place de cette base de données, identifier des acteurs surtout au sein de l'enseignement supérieur et de la recherche français qui peuvent contribuer à résoudre ces problèmes et, si cela s'avère possible, construire une collaboration future.

³ <https://watchlibrary.org/>

⁴ <https://www.arc-horloger.org/>

⁵ ~~C'est un~~ Terme qui n'est pas encore largement utilisé dans la communauté française mais qui l'est déjà en Angleterre qui désigne des objets composés des nombreuses pièces et qui sont en mouvements : horloges, automates, ... mais qui peuvent être aussi les mécanismes utilisés dans l'industrie ou dans la recherche.

A notre connaissance, c'est **la première collection mondiale des d'objets 3D dynamiques** mise en **open access** que nous sommes en train de développer avec nos partenaires du projet.

2. Stratégie et déroulé du projet

Pour pouvoir atteindre ces trois objectifs, nous avons choisi une stratégie d'« incrémentation expérimentale ». Il est prévu que CHRONOSPEDIA soit composée de plusieurs chapitres dédiés aux différents mécanismes horloger. Nous ~~en~~ avons choisi un mécanisme le plus répandu en France – horloge comtoise – pour lequel nous allons tester les idées et les hypothèses et pour lequel nous allons identifier des verrous à lever. Les compétences horlogères (qui définissent le contenu du chapitre) sont apportées par l'atelier de l'Horloger de la Croix rousse et le Musée du temps de Besançon qui disposent des collections les plus importantes pour ce chapitre.

Si cela fonctionne on passera à l'étape suivante de multiplication des chapitres. Lors de cette deuxième étape qui fera l'objet des développements futurs, il faudra identifier les verrous et les problèmes à résoudre liés à l'accroissement notable des mécanismes à modéliser et à sauvegarder.

L'axe stratégique principal du projet a été et reste de s'appuyer sur la recherche et l'innovation (en 3D, en rétro-ingénierie, Réalité Augmentée, Réalité Virtuelle, ainsi que dans l'archivage moderne) pour proposer des méthodes de sauvegarde du savoir-faire à la pointe de la recherche et d'identifier et ~~de~~ collecter les informations les plus pertinentes pour la transmission.

L'approche du projet a consisté dans l'avancement graduel :

- 1) Identification des verrous technologiques ;
- 2) Implémentation des solutions de ces problèmes en s'appuyant sur la communauté scientifique la plus large possible ;
- 3) Production du contenu à la fois au travers des modélisations des principaux mécanismes horlogers et ~~de~~ la collecte des informations auprès de la communauté horlogère (horlogers, musées, associations d'amateurs d'horlogerie, ...) ;
- 4) Implication progressive des centres de formations (lycées d'horlogerie français et suisses ainsi que des écoles d'ingénieurs) pour tester les outils développés par CHRONOSPEDIA et pour participer à l'enrichissement de la base de données.

2.1 Principaux résultats

Le site web de CHRONOSPEDIA (www.chronospedia.com) ouvert à tout public se trouve en constante évolution et on peut voir l'ensemble de la base de données sur la page :

<https://www.chronospedia.com/s/chronospedia/search>

où le choix de la dénomination « Horloge comtoise » permet d'isoler les éléments qui relèvent du premier chapitre test : modèles 3D, fiches d'inventaire du Musée du temps, documents ocrés, ...

Les premières années du projet ont permis d'avoir des avancées majeures sur les deux premiers points de notre stratégie.

- 1) Deux principaux verrous technologiques ont été identifiés :
 - a. Le choix des outils informatiques judicieux pour la production des modèles 3D (typologie et formats des fichiers indépendants du fournisseur de software et avec le risque minimal de non pérennisation) ;
 - b. Les outils d'archivage des modèles 3D (il s'agit de la première collection mondiale des modèles 3D CAO en libre accès) et d'autres type de documents (articles, livres, inventaires des musées, vidéos, sons, ...)
- 2) Toutes les compétences nécessaires ont été réunies pour résoudre ces problèmes et construire une collaboration avec le partenaire majeur du projet, Dassault Systèmes, fournisseur du logiciel SolidWorks, mais également une large communauté scientifique qui travaille à la fois sur les sujets de 3D, de réalité étendue, de l'archivage moderne, en intégrant une structure nationale de recherche : HumaNum 3D.

Tous les tests faits par la collaboration CHRONOSPEDIA, en bénéficiant des appels à projets publics, se sont avérés concluants.

2.2 Présentation du site CHRONOSPEDIA sous OMEKA-S et visualisation 3D

Omeka S⁶ est un système de gestion de contenu (CMS) conçu pour la création de bibliothèques numériques qui est utilisé à l'INIST pour créer des sites web dans le cadre de projets de recherche⁷.

Dans l'offre de fonctionnalités, l'intégration de visionneuses 3D a été ajoutée à la multitude de plugins déjà existants (recherche avec moteur d'indexation Solr, cartographie, moissonnage OAI-PMH, exports de données, IIIF⁸ ...)

Pour le projet CHRONOSPEDIA, les modèles 3D sont réalisés avec des logiciels de CAO. Cependant, la plupart des technologies de visionneuses sur le web reposent sur l'utilisation de modèles à base de maillage. Le format de fichier qui semble être le meilleur pour de la visualisation sur le web est le format GLTF⁹ créé par le Khronos Group. C'est un format plutôt récent qui propose de nombreuses fonctionnalités et dont la compression permet d'éviter un temps de réponse trop long lors d'un affichage sur le web.

Parmi ces visionneuses 3D sur le web, nous avons retenu ModelViewer¹⁰ de Google et Voyager Explorer¹¹ de la Smithsonian Institution. Ce sont toutes les deux des visionneuses open-source qui proposent des fonctionnalités différentes.

Notre objectif est de proposer des modèles 3D animés et annotés avec des possibilités de visualisation en réalité virtuelle et augmentée. Les visionneuses 3D ne proposent pas toutes ces fonctionnalités. D'un côté, Modelviewer permet d'afficher un modèle 3D en mouvement (ce que Voyager ne permet pas pour le moment). De l'autre, Voyager est la seule solution à proposer un éditeur qui permet de créer des annotations et des « visites virtuelles » autour d'un modèle 3D. Ces deux visionneuses permettent néanmoins l'affichage en réalité augmentée grâce au standard WebXR¹².

⁶ <https://omeka.org/s/>

⁷ <https://www.inist.fr/services/valoriser/ingenierie-des-donnees/>

⁸ <https://iiif.io/>

⁹ <https://www.khronos.org/glTF/>

¹⁰ <https://github.com/google/model-viewer>

¹¹ <https://smithsonian.github.io/dpo-voyager/>

¹² <https://www.w3.org/TR/webxr/>

Dans tous les cas, il est important de garder en archive le fichier source au format du logiciel utilisé (même si c'est un format propriétaire) car c'est le fichier qui contient le plus d'informations. À côté de cela, nous exportons le modèle dans un format plus ouvert et pérenne, le STEP (AP 214).

Un export sous forme de maillage au format GLB (version binaire du GLTF) est aussi généré. C'est à partir de celui-ci qu'un travail est fait avec le logiciel Blender pour créer une animation vidéo et un export du modèle en GLB qui peut aussi comporter des animations.

Afin de garantir la pérennité et l'interopérabilité des modèles 3D, nous déposerons les fichiers sources des modèles 3D dans le Conservatoire National des Données 3D (CND3D)¹³ créé par le consortium 3D SHS¹⁴ de l'Infrastructure de Recherche Huma-Num¹⁵ pour leur archivage et leur accès, via l'utilisation du logiciel aLTAG3D¹⁶.

Le modèle de données utilisé pour décrire les modèles 3D de CHRONOSPEDIA se base déjà en grande partie sur le schéma de métadonnées du Conservatoire.

Les métadonnées respecteront les principes FAIR¹⁷ selon les recommandations pour la science ouverte¹⁸.

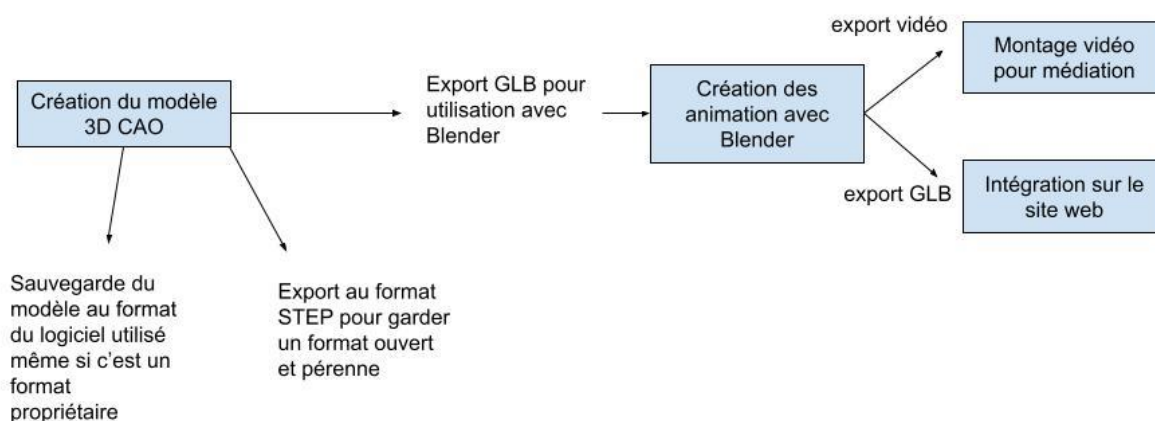


Figure 1: Processus de création 3D de CHRONOSPEDIA

Il faut souligner que l'archivage des modèles dynamiques en 3D s'est avéré un exercice beaucoup plus complexe que l'archivage d'un artefact archéologique unique. Une horloge est un objet composé de plusieurs dizaines, voire centaine de pièces. Pour pouvoir archiver un objet aussi complexe, il faut décrire son architecture (nous avons adopté la structuration en quatre niveaux : objet entier, sous-mécanismes fonctionnels, pièces composées et pièces élémentaires). Ainsi un mécanisme horloger, comme par exemple une horloge comtoise à verge, est décrit dans CHRONOSPEDIA par près 200 objets 3D et autant de fichiers avec les métadonnées associées. Cette solution d'archivage a été proposée après plusieurs mois de discussions et de recherches entre les acteurs de la collaboration CHRONOSPEDIA.

Un autre sujet qu'il a fallu aborder et résoudre, c'est le sujet de la nomenclature des pièces qui n'a jamais été vraiment standardisée. La question est vitale pour l'harmonisation et

¹³ <https://3d.humanities.science/>

¹⁴ <https://shs3d.hypotheses.org/>

¹⁵ <https://www.huma-num.fr/>

¹⁶ <https://altag3d.huma-num.fr/>

¹⁷ <https://www.ouvrirlascience.fr/fair-principles/>

¹⁸ <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/le-plan-national-pour-la-science-ouverte-2021-2024-vers-une-generalisation-de-la-science-ouverte-en-48525>

structuration de l'archive et elle est d'autant plus compliquée que parfois la même pièce ne porte pas le même nom français en France et en Suisse, par exemple.

2.3 Structuration de la collaboration et partenaires principaux

Comme nous l'avons indiqué auparavant, l'identification des acteurs surtout au sein de l'enseignement supérieur et de la recherche français qui peuvent contribuer à résoudre ces problèmes et la construction d'une collaboration solide représente un des objectifs majeurs du projet.

Aujourd'hui, plus de 40 structures collaborent dans le cadre du projet, c'est pourquoi un des enjeux majeurs de ces premières années était la structuration du projet.

Le projet CHRONOSPEDIA se structure selon trois axes principaux :

- Préparation des outils informatiques nécessaires pour la production des modèles 3D (modélisation, choix des formats des données, leur visualisation, ...) et pour la conception d'une archive numérique réunissant des données assez hétérogènes ;
- Production (surtout pour les modèles 3D), identification, homogénéisation des données (pour les archives des musées et des documents), leur sauvegarde pérenne, la mise en place de fonctionnalités permettant la recherche (via des mises en relation), la valorisation et l'exploitation des contenus, ...
- Développement des usages de CHRONOSPEDIA dans l'enseignement, dans la recherche, dans l'activité muséographique ainsi que la valorisation et la communication autour du projet ...



Figure 2. Structure générale du projet CHRONOSPEDIA.

Les principaux partenaires qui ont contribué au travail couvert par ce SNI sont :

Dans le domaine de l'horlogerie

- François Simon-Fustier, Maître d'Art en Horlogerie (<https://horlogerie-ancienne.fr/horloger-de-la-croix-rousse>), fondateur du projet.
- Eliott Collinge (<https://vecthor.be/>) horloger et spécialiste d'outils d'animation.
- AFAHA, Association Française des Amateurs d'Horlogerie Ancienne (<http://www.afaha.com/>)

- AHA, Association d'Horlogerie Aliermontaise (<https://www.musee-horlogerie-aliermont.fr/l-association-d-horlogerie-aliermontaise-fr986d>)
- Musée du Temps de Besançon (<https://www.mdt.besancon.fr/>)

Structures de l'ESR spécialisées en mécanique, imagerie, traitement du son

- Plateforme Vision_R du GSCOP (UMR5272 Laboratoire « Sciences pour la conception, l'optimisation et la production » de Grenoble INP-UGA-CNRS)¹⁹ : visualisation, choix des formats, rétro-ingénierie.
- Laboratoire des sciences du numérique de Nantes (UMR6004 de l'Université de Nantes, Centrale Nantes, l'IMT Atlantique/campus de Nantes, du CNRS et d'Inria)²⁰ : conception du projet, outils 3D.
- Laboratoire XLIM, UMR7252 – Université de Poitiers/CNRS²¹ : retro ingénierie et l'usage des méthode de l'IA en collaboration avec Institut interdisciplinaire pour l'intelligence artificielle (MIAI)²².

Structures de l'ESR spécialisées en conservation et en traitement de documentation

- Institut de l'information scientifique et technique (INIST), une Unité d'appui à la Recherche (UAR76) du CNRS²³ : archivage, métadonnées, visualisation.
- Direction générale déléguée Bibliothèques et appui à la science ouverte (DGD BAPSO) de l'Université Grenoble Alpes²⁴ : archivage et production des métadonnées.
- SUPMICROTECH-ENSMM, l'École nationale supérieure de mécanique et des microtechniques²⁵ : production des métadonnées.

Lycées d'enseignement professionnel

CHRONOSPEDIA a mis en place des collaborations avec plusieurs lycées d'horlogerie et/ou d'enseignement technique, qui incluent des enseignements à distance, des challenges et des compétitions pour les élèves dans l'apprentissage de la CAO et la production des modèles des horloges. Pour ce chapitre, nous avons collaboré avec :

- Lycée Diderot de Paris (https://pia.ac-paris.fr/serail/jcms/s2_2938257/fr/accueil)

Le partenariat avec Dassault Systèmes nous permet d'utiliser sa suite 3DEXPERIENCE (qui comprend le logiciel SolidWorks) gratuitement. Rappelons que Dassault Systèmes en plus de la gratuité des licences offerte pour 5 ans, nous octroie la possibilité d'utiliser son cloud, autorise son personnel de 3D ExperienceLab de travailler gratuitement pour nous pour 10% de son temps en laissant la propriété intellectuelle des modèles produits à CHRONOSPEDIA et donc dans le domaine public.

CHRONOSPEDIA fait désormais partie des projets du consortium 3D pour les Humanités Numériques <https://shs3d.hypotheses.org/> et à ce titre bénéficie et contribue au développement des outils collaboratifs du consortium.

¹⁹ <https://g-scop.grenoble-inp.fr/fr/equipements/la-plateforme-vision-r>

²⁰ <https://www.ls2n.fr/>

²¹ <https://www.xlim.fr/>

²² <https://miai-cluster.univ-grenoble-alpes.fr/>

²³ <https://www.inist.fr/>

²⁴ <https://bibliotheques.univ-grenoble-alpes.fr/bibliotheques/les-bibliotheques-164110.kjsp>

²⁵ <https://www.supmicrotech.fr/>

3. Étude utilisateurs

A ce stade de développement de CHRONOSPEDIA où les problématiques dominantes sont surtout d'ordre méthodologiques, les utilisateurs principaux du projet sont des structures qui utilisent CHRONOSPEDIA comme « bac à sable » : une base de données libre d'accès pour tester des technologies et des approches développées par les partenaires du projet. Ensuite ces approches peuvent et seront utilisés par ailleurs.

Bien évidemment, des musées français et étrangers utilisent des « produits » de CHRONOSPEDIA (vidéos, images de visionneuse, ...) mais ils se placent plutôt en « consommateur » que du côté des collaborateurs qui participent aux développements méthodologiques. Nos relations avec les musées sont abordées dans la partie liée aux difficultés rencontrées lors du déroulement du projet.

3.1 Feedback des utilisateurs de l'ESR

Nous donnons in extenso l'avis des utilisateurs/développeurs principaux du projet.

Florent Laroche, enseignant-chercheur, ingénieur et docteur HDR, Directeur régional adjoint
S.mart Pays de la Loire, Vice-président Formation Continue Nantes
Université :

« Le laboratoire LS2N (École Centrale de Nantes) apporte au projet CHRONOSPEDIA une expertise reconnue en patrimoine numérique, en particulier sur la capitalisation, la modélisation et la valorisation du patrimoine technique, scientifique et industriel.

Spécialiste des jumeaux numériques patrimoniaux, l'équipe nantaise développe depuis plusieurs années des méthodes de numérisation, simulation et interopérabilité des données 3D et sémantiques au service des institutions culturelles.

Le LS2N met à disposition son expérience en pilotage de projets interdisciplinaires associant sciences du numérique, ingénierie et culture, ainsi que son savoir-faire en recherche collaborative entre universités, musées et entreprises.

CHRONOSPEDIA constitue pour le laboratoire un cas d'étude concret sur la modélisation des savoir-faire mécaniques et leur transmission, combinant enjeux scientifiques, technologiques et sociétaux.

Cette participation renforce la dimension de recherche et d'innovation du projet tout en consolidant la chaîne de valeur du patrimoine horloger numérique, de la capture à la médiation. »

Alain Zasadzinski, INIST – CNRS, Responsable du Service ExpoDoR « Exposition des Données de Recherche », Département « Valoriser les Données de Recherche »

« La participation de l'INIST (Institut de l'information scientifique et technique, UAR76 CNRS) dans le projet CHRONOSPEDIA s'inscrit dans la mise en œuvre de la politique de science ouverte à travers son offre de service pour des différents acteurs de la recherche et du patrimoine souhaitant ouvrir, partager et valoriser leurs données.

Dans ce contexte, le service « Exposition des données de recherche » de l'INIST déploie des bibliothèques numériques via le logiciel libre Omeka S et accompagne les acteurs dans la rédaction de plan de gestion de données via son service en ligne DMP Opidor.

Le projet CHRONOSPEDIA représente une opportunité pour participer à des projets concernant des objets numériques d'avenir pour lesquels les besoins de valorisation via des services en ligne sont de plus en plus demandés.

Ainsi, le projet CHRONOSPEDIA permet à notre institut d'élargir son offre de service à des modélisations 3D via des visionneuses et des modèles de description des objets par des métadonnées interopérables avec les solutions d'archivage telles que celles proposées par le consortium 3D d'HumaNum et dans la mise en œuvre des principes FAIR mais aussi d'écoresponsabilité tout au long du cycle des données.

Les développements réalisés dans le cadre du projet CHRONOSPEDIA vont pouvoir être réutilisés dans le cadre d'autres projets scientifiques et de valorisation du patrimoine associés aux technologies 3D.

En partenariat avec des musées et des acteurs du monde de la culture et de l'industrie, ce projet permet à l'INIST de prendre en compte les besoins de ces acteurs en termes de fonctionnalités, mais également en termes de droit pour le partage et la visualisation des objets numérisés. »

Frédéric Noël, Professeur des Universités, Directeur Grenoble INP – Génie industriel, UGA – School of Industrial Engineering and Management, Laboratoire G-SCOP, École Génie industriel

« CHRONOSPEDIA tente de définir un processus complet d'acquisition et de restitution de connaissances sur le savoir-faire horloger. Ce processus propre à l'industrie horlogère est proche des besoins d'autres domaines applicatifs. L'école Grenoble-INP Génie industriel y trouve un bac à sable pour que nos étudiants travaillent sur la compréhension, la création et la maintenance de systèmes complexes. La reconstitution d'information de conception, à partir d'un système physique, est une procédure de retro-engineering particulièrement pertinente pour des élèves ingénieurs en génie industriel. Ce bac à sable est aussi pertinent pour des activités de recherche et de développement de processus innovant, notamment pour le déploiement de nouvelles technologies (numérisation 3D, réalité virtuelle ou augmentée, et autres outils numériques dont notamment l'intelligence artificielle, etc.). Au-delà des technologies, le cas d'étude de l'industrie horlogère démontre le besoin d'intégrer des savoir-faire interdisciplinaires, ce qui en fait un projet exemplaire. D'un point de vue technique, l'automatisation de l'acquisition n'est pas un problème entièrement résolu, ce qui est un véritable enjeu pour les industries culturelles et artistiques.

Le projet engage parallèlement des réflexions complexes comme la stratégie de pérennisation de l'information ; à l'ère du numérique impose la création de standards, mais aussi de modèles économiques pour pérenniser les contenus, pérennisation qu'il faut penser en fonction des usages actuels et futurs. Si une approche marchande de type service peut être envisagé, ces modèles économiques doivent être appuyés par des structures publiques si la pérennité s'entend au-delà de la durée de vie moyenne d'une entreprise commerciale. Grenoble-INP Génie industriel trouve des intérêts forts d'interaction avec le projet CHRONOSPEDIA.

De manière très concrète, ces dernières années, Grenoble-INP Génie industrie, avec laboratoire G-SCOP et le centre technologique S.mart Université Grenoble Alpes a contribué à CHRONOSPEDIA par :

- la participation au comité de pilotage du projet*
- l'identification des formats de sauvegardes pertinents (nature des documents partagés (formats natifs, STEP, gltf, obj)*
- l'évaluation des volumes de données à pérenniser*

- la participation à l'initiation d'un processus de continuité numérique
- tests de transfert et de médiation de contenus en Réalité virtuelles : Présentation de fonctionnement d'horloges et prêts de casques pour des démonstrations »

Sébastien Horna, Professeur des universités – Informatique CNU 27, Directeur délégué XLIM/Poitiers et Partenariats Recherche en Nouvelle Aquitaine, Université de Poitiers, Laboratoire XLIM CNRS - UMR 7252

« La construction de modèles 3D de CHRONOSPEDIA est coûteuse et chronophage (démontage du système, prise de cotes...). Les domaines d'expertise R&D de l'équipe IG (Informatique Graphique) du laboratoire XLIM (UMR CNRS 7252) sont : la numérisation 3D et acquisition de données ; traitement d'images et analyse de données ; modélisation géométrique et topologique ; simulation physique et modélisation multi-physique.

La collaboration avec CHRONOSPEDIA permet à l'équipe IG de développer ses thématiques de recherche afin d'automatiser un maximum d'étapes de la chaîne de reconstruction : l'analyse de nuages de points, la modélisation géométrique et topologique de ces systèmes, et leur simulation physique.

L'équipe IG bénéficie ainsi d'un cadre applicatif proposant de nombreux challenges : certains en lien direct avec ses activités, d'autres spécifiques au domaine de l'horlogerie. »

Lucie Albaret, Co-responsable de la Cellule Codes Données Grenoble Alpes (CDGA), Direction des services d'appui à la recherche et à la science ouverte, Bibliothèque – Appui pour la Science Ouverte – Université Grenoble Alpes (BAPSO)

« Participer au projet CHRONOSPEDIA répond aux missions de sauvegarde et de diffusion au plus grand nombre assumées par les bibliothèques universitaires. C'est avec enthousiasme que la bibliothèque universitaire s'est engagée dans ce projet pour plusieurs raisons :

- *les contenus de CHRONOSPEDIA (modèles 3D des horloges) sont mis à disposition en libre accès conformément aux politiques nationales et universitaires de science ouverte.*
- *la description des modèles 3D représente un enjeu et un défi pour les personnels des bibliothèques ; il s'agit d'un nouvel objet documentaire qu'il convient de décrire finement pour permettre sa découvrabilité et favoriser son usage : nous avons donc acquis de nouvelles compétences dans le signalement des contenus, compétences que nous pouvons réinvestir dans d'autres situations, notamment sur l'accompagnement à la gestion des données scientifiques qui représente un enjeu majeur pour les bibliothèques.*
- *Le travail avec l'INIST pour CHRONOSPEDIA est précieux pour nous ; au-delà de la coopération sur les métadonnées elle nous a permis de nous approprier le logiciel Omeka S, logiciel permettant d'articuler base de données et exposition. Grâce à CHRONOSPEDIA, nous avons pu engager avec l'INIST de nouveaux projets utilisant Omeka S : BotAlpes (sur la botanique alpine) et Fonte Gaia (sur la littérature italienne).*

Le bénéfice de notre participation est donc très important pour la bibliothèque et répond aux enjeux portés par la bibliothèque, notamment sur la science ouverte. Nous souhaitons donc poursuivre notre engagement dans CHRONOSPEDIA. »

3.2 Points positifs

Parmi les points positifs du projet financé par le SNI, il faut noter l'intérêt indéniable qu'il a pu provoquer à la fois au sein de la communauté horlogère mais également dans le monde de l'enseignement supérieur et de la recherche.

Une raison assez évidente consiste dans le fait que CHRONOSPEDIA représente une première base ouverte des modèles 3D dynamiques. De plus, c'est une base de données hétérogène dotée d'un moteur de recherche unique permettant de parcourir et trouver des résultats quel que soit la nature de l'élément de cette base (3D, document, vidéo, fiche d'inventaire d'un musée, ...). Cette base de données est un excellent objet d'étude et de test des technologies et des approches qui seront utilisés par la suite dans d'autres domaines et pour d'autres collections. C'est cette raison qui a permis de réunir en peu de temps une collaboration aussi riche et performante.

La deuxième raison à laquelle on n'a absolument pas pensé est probablement beaucoup moins « rationnelle » : l'horlogerie joue un rôle très important et assez particulier dans l'histoire et dans la culture française. Dans nos très nombreuses discussions avec les collaborateurs et des usagers de CHRONOSPEDIA, il était très facile d'expliquer ce que nous voulions faire et pourquoi. On aurait eu beaucoup plus de difficultés pour une autre collection éventuelle. L'horlogerie fait partie intégrante de la culture française au point que des nombreux interlocuteurs nous ont raconté leur histoire personnelle liée à l'horlogerie : un parent-horloger ou une horloge de grand-mère qui a marqué leur enfance, sans parler de la beauté des nombreuses réalisations horlogères qui fascine et attire le public. Cet attachement sentimental à l'horlogerie a grandement contribué au développement du projet en facilitant des discussions.

Le choix stratégique de commencer par un chapitre test était un bon choix même s'il comporte des risques et des obstacles éventuels au moment de la généralisation à d'autres chapitres qui eux peuvent avoir des particularités qui n'existent pas dans le chapitre lié à l'horloge comtoise. Ce risque est limité car ce mécanisme particulier est assez bien documenté et nous avons pu identifier et lever les principaux verrous technologiques et méthodologiques (pérennité de la collection et choix des bons formats, structuration d'archive, choix adéquat des métadonnées, définition d'un objet 3D dynamique conservable avec son architecture informatique et des très nombreux fichiers, ...).

Au sein de notre projet, nous avons pu faire dialoguer et collaborer deux communautés qui n'avait presque plus l'habitude de travailler ensemble : le monde horloger (artisans, associations d'amateurs, musées) et le monde de l'enseignement supérieur et de la recherche.

3.3 Difficultés dans la réalisation du projet

Parmi les difficultés rencontrées lors de la réalisation de ce projet, il faut mentionner celle de l'organisation du dialogue entre le monde horloger et le monde de l'enseignement supérieur et de la recherche. Ce sont des communautés qui se connaissent mal, qui n'utilisent pas les mêmes terminologies, qui ne sont pas organisées (quand l'organisation existe) de la même façon, ... Un obstacle majeur était et reste le rapport à l'accès libre aux données. L'Open access est une conception très importante dans la recherche et de l'enseignement mais elle est presque antinomique à la façon de travailler des artisans-horlogers qui ont l'habitude et le réflexe de « garder leurs secrets ». Plusieurs artisans ont décliné nos propositions de collaboration par crainte de les perdre.

Une deuxième difficulté liée au monde de la recherche est la quasi absence des chercheurs qui s'intéressent à l'histoire de l'horlogerie que ce soit le volet technologique (histoire des sciences) ou social. La plupart des collègues universitaires qui s'intéressaient à ces sujets par le passé ont pris aujourd'hui leur retraite et ne sont plus en activité. Cela nous freine dans la valorisation des résultats de nos travaux.

Une troisième difficulté est liée aux musées d'horlogerie. D'une part, il n'y aucune organisation et presque pas de dialogue entre les différents musées : cela nous rend difficile l'idée du regroupement des inventaires au sein de notre base de données. Par exemple, plusieurs musées disposent d'horloges comtoises mais l'état de leurs inventaires, voire les logiciels utilisés pour les inventaires, ne permettent pas toujours l'automatisation du process de moissonnage des données. D'autre part, la plupart des musées avec lesquels nous dialoguons sont des musées municipaux qui n'ont pas d'autonomie de prise de décision en matière financière, organisationnelle ou juridique. Parfois cela crée des blocages et ralentit fortement le process de construction.

4. Bilan et conclusions

CHRONOSPEDIA est passé aujourd'hui d'une idée assez iconoclaste mais assez vague de réunir dans une base de données un savoir-faire horloger sous forme d'éléments très hétérogènes (modèles 3D, fiches techniques, inventaires des musées, documents, enregistrements sonores, ...) à un projet bien structuré qui s'appuie sur les dernières innovations et qui avance très rapidement avec le soutien des multiples financeurs. La création d'une encyclopédie de cette nature est clairement faisable. Le financement du SNI était crucial pour amorcer une belle dynamique et ouvrir la porte à d'autres financements publics et privés.

La prochaine étape sera d'ajouter d'autres chapitres et évaluer notre capacité d'augmenter sensiblement le nombre de modèles dans notre collection.

Porté par une large collaboration réunissant le monde horloger (horlogers, musées, associations d'amateurs, ...) et le monde de l'enseignement supérieur et de la recherche (laboratoires de recherche, universités et écoles d'ingénieurs, ...) et avec un soutien remarquable de Dassault Systèmes, ce projet doit passer d'une phase très importante de multiples tests de faisabilité à la production massive de contenus. Cette base de données totalement inhabituelle offre aux nombreux chercheurs un champ d'expérimentation inédit et complètement ouvert, non limité par des brevets et des licences. Les développements faits dans CHRONOSPEDIA commencent à être utilisés pour d'autres projets.

Française à l'origine, CHRONOSPEDIA est devenue aujourd'hui internationale avec un enjeu majeur de devenir interopérable quelle que soit l'origine ou la nature de la connaissance accumulée dans sa plateforme d'échange et de recherche.