

Le patrimoine industriel en virtuel comme outil de formation

A. Wartelle ^{a, b, *}, R. Querrec ^a, F. Laroche ^b, M.-M. Abiven ^a, S. Laubé ^c, M. Gasnier ^d, I. Astic ^e

^a Lab-STICC, ENIB, France

^b LS2N, Ecole Centrale de Nantes, France

^c Centre François Viète, UBO, France

^d FEMTO-ST, UTBM, France

^e Musée des Arts et Métiers, France

* e-mail : wartelle@enib.fr

1. INTRODUCTION

L'apprentissage en immersion (*immersive learning*) est un outil pédagogique qui offre de nombreux avantages. Plongé dans un environnement en réalité virtuelle, l'apprenant est impliqué émotionnellement et moins sensible aux distractions extérieures, ce qui favorise l'attention. Les situations dans lesquelles il peut être placé, inspirées de la réalité, lui permettent également de contextualiser les connaissances théoriques qu'il a acquises. Pour ces raisons, l'apprentissage en immersion représente un complément intéressant des méthodes de formation classiques.

Le projet ANR Lab In Virtuo [1] a pour objectifs le développement et la validation d'« Environnements Virtuels Intelligents Réalistes Sensoriels » (EVIRS). Ces environnements sont envisagés comme des laboratoires virtuels interdisciplinaires, dans lesquels différents acteurs peuvent travailler de manière collaborative sur des sujets culturels et patrimoniaux. Par ailleurs, ce sont des outils de formation à part entière, au sein desquels nous pouvons faire exécuter des scénarios de médiation par des Agents Conversationnels Autonomes (ACA) afin de présenter des connaissances historiques et patrimoniales à des apprenants. Ces agents peuvent notamment restituer des savoirs incarnés (*embodied knowledge*) grâce à la capture de gestes. Dans le cadre du projet, nous nous intéressons principalement à des Paysages Industriels Culturels Sensoriels (PICS) [2].

Nous émettons l'hypothèse suivante : l'immersion dans un EVIRS permet une amélioration de l'explicitation, de la compréhension et de la mémorisation des connaissances.

2. POSITIONNEMENT

Lab In Virtuo s'inscrit dans une démarche de conservation des métiers et savoir-faire industriels. Un aspect essentiel du projet est son approche pluridisciplinaire : il réunit des profils issus des sciences humaines et sociales, et d'autres, plus techniques. L'informatique est ici mise au service des arts et des sciences humaines, et la collaboration entre acteurs de différents domaines est essentielle à la réussite du projet.

La réalité virtuelle semble avoir un effet positif sur l'acquisition de connaissances sur des objets historiques [3] [4]. Il nous semble important de pouvoir non seulement manipuler les représentations 3D des objets patrimoniaux, ce qui se fait déjà dans certaines expositions [5], mais aussi, dans le cas de machines industrielles, de les mettre en fonctionnement. Ce sont des outils : on ne peut pas se contenter de les décrire comme des objets statiques et omettre de représenter leur usage.

En ce qui concerne les ACA, de nombreuses études se sont penchées sur la qualité perçue de leur discours ; elle passe notamment par une vraie adaptation aux actions de leur interlocuteur humain [6] (les ACA doivent savoir écouter). Des travaux récents [7] décrivent un système de conversation avec des robots sociaux ou des agents conversationnels basé sur le contenu sémantique des énoncés. Ce système vise à générer des conversations plus enrichissantes en restituant des connaissances sur les sujets évoqués, mais il ne permet pas de mettre à jour ces connaissances par l'interaction. Or, nous souhaitons que les ACA puissent servir d'interface à des utilisateurs

experts et leur permettent de modifier les connaissances existantes ou d'en répertorier de nouvelles.

La dimension sensorielle est également un axe peu exploré dans les humanités numériques. Si la vue apporte son lot d'informations sur les paysages étudiés, une description complète de ces paysages doit passer par les autres sens, notamment l'ouïe (archéologie des paysages sonores) [8].

3. MODELE INFORMATIQUE

Notre modèle vise à établir un lien bidirectionnel entre un corpus numérique, composé de données et de sources historiques, ainsi que des dispositifs techniques pour les conserver et y accéder, et un EVIRS, le Lab In Virtuo (voir Figure 1). Les utilisateurs, experts ou apprenants, doivent pouvoir interagir avec le corpus numérique : le consulter, le simuler, le modifier, selon leur rôle et leurs besoins. Dans ce corpus, nous souhaitons pouvoir représenter des systèmes complexes et des activités ; des informations qualitatives sur les données historiques ; et enfin des données sensorielles, principalement visuelles et sonores dans un premier temps.

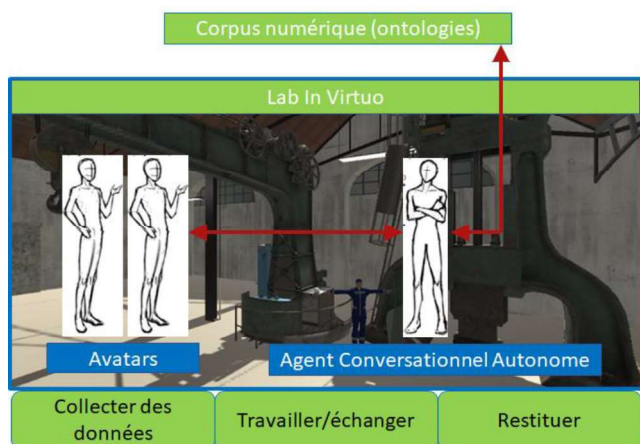


Figure 1 : Architecture du projet Lab In Virtuo

Ce sont des ACA qui jouent le rôle d'interface entre les utilisateurs, incarnés dans l'environnement par des avatars, et les connaissances contenues dans le corpus. Ces agents restituent des données textuelles grâce à la synthèse vocale. Nous souhaitons aussi qu'en utilisant une grammaire spécifique, les apprenants puissent poser des questions précises sur les données contenues dans le corpus, et que les ACA soient capables de leur répondre.

Pour constituer le corpus numérique, nous nous appuyons sur l'ontologie générique ANY-ARTEFACT [2], qui permet de décrire des systèmes et des activités (Figure 2). Trois concepts la définissent : les artefacts, les acteurs et les savoirs.

- Un artefact est une production humaine qui a une fonction précise et qui possède la « capacité » de réaliser cette fonction. En outre, l'artefact est associé à un usage qui correspond à l'activité pour laquelle il a été créé. Dans le cadre de notre étude, nous considérons un système technique ou une

unité de production industrielle comme un artefact, car celui-ci a une fonction et un usage.

- La notion d'acteur peut être divisée en trois catégories : l'homme ou être humain, le groupe social composé au minimum de deux personnes ayant des buts ou intérêts communs, et la position ou le poste occupé. Nous considérons ces trois types, être humain, groupe et position, comme des acteurs qui participent à une activité donnée.
- Les savoirs englobent l'ensemble des connaissances relatives à une activité. Nous pouvons mettre en évidence plusieurs types de savoir : 1) les savoir-faire incorporés, qui sont indissociables de personnes ou de groupes concrets. Ils sont le résultat d'un apprentissage personnel, d'une expérience, ou d'une habileté. 2) les savoirs empiriques, scientifiques et scolaires, qui sont les types de savoirs qui ont été étudiés, et enfin 3) les savoirs techniques, qui correspondent aux connaissances et savoirs humains, conscients ou inconscients, qui permettent la mise en œuvre d'une technique. Cette notion de savoir que l'on attribue aux acteurs porte sur le savoir manuel, c'est-à-dire les gestes techniques, l'utilisation des outils, mais également les procédures et les métiers à proprement parler. Ces savoirs peuvent se transmettre sous plusieurs formes : de manière verbale d'un acteur à un autre, ou de manière matérielle à travers les plans ou les archives. Ils ne sont pas figés, mais se transmettent et évoluent en fonction des acteurs et du perfectionnement des objets techniques.

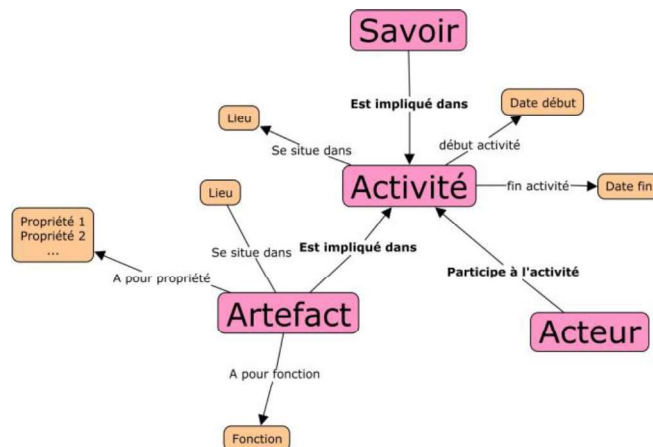


Figure 2 : Carte conceptuelle de l'ontologie ANY-ARTEFACT

L'ontologie ANY-ARTEFACT est en partie basée sur le modèle conceptuel CIDOC-CRM, conçu pour la représentation de collections muséales. Afin de modéliser les paysages industriels dans toute leur dimension sensorielle (bruit, chaleur, odeurs...), nous devons augmenter notre ontologie générique pour qu'elle puisse représenter ces concepts.

Chaque cas d'usage s'appuie sur une ontologie de domaine, qui dérive de l'ontologie générique et décrit un type de système (par exemple, une ontologie sur les ponts ou sur les forges).

Le corpus numérique est stocké grâce au logiciel *open source* Omeka S, qui permet de gérer et valoriser des collections d'items à l'aide d'une interface web. Nous avons choisi Omeka S, car c'est un outil de référence, déjà largement utilisé dans le domaine des sciences humaines. Il permet en outre de créer et maintenir des ontologies, grâce auxquelles nous pouvons organiser nos sources et connaissances historiques selon leur sémantique. Enfin, les données qu'il gère sont accessibles grâce à une API REST, on peut donc aisément les recueillir dans des applications tierces, et notamment dans le moteur Unity, qui fait tourner notre environnement virtuel.

Nous interagissons avec ce corpus numérique de trois façons différentes (voir Figure 1) :

- La plus évidente, et la plus simple à mettre en place, c'est la restitution de connaissances dans l'EVIRS. Elles sont présentées sous la forme de scénarios pédagogiques au cours desquels un ACA extrait des informations du corpus numérique pour les présenter à un ou des utilisateurs humains, les apprenants, représentés par des avatars.
- Un autre type d'interaction possible est la collecte de données depuis l'EVIRS : un utilisateur expert (typiquement, un historien), immergé dans l'environnement, apporte des connaissances au corpus.
- Enfin, le travail en collaboration est un troisième type d'interaction, hybride des deux précédentes. Nous pourrions comparer des corpus constitués sur un même sujet par des experts de disciplines ou spécialités différentes (par exemple, un historien et une archéologue). Dans cette même logique de collaboration, le Lab In Virtuo peut servir de support pour présenter des idées de reconstitution aux citoyens et les faire valider.

Pour introduire les connaissances décrites par l'ontologie dans l'environnement virtuel, nous utilisons le métamodèle UML MASCARET [9], qui permet d'instancier des systèmes et d'exécuter des activités en environnement virtuel. Il est possible d'établir un alignement entre les concepts majeurs d'ANY-ARTEFACT (Artefact, Acteur, Activité) et ceux de MASCARET (Entité, Rôle, Activité, Agent) [10]. Ainsi, MASCARET est l'intermédiaire idéal entre le corpus numérique et l'environnement virtuel.

Afin de transférer les connaissances de manière naturelle aux utilisateurs finaux, nous choisissons de faire exécuter aux ACA des scénarios de médiation qui les contextualisent. Ces scénarios sont rédigés par des médiateurs.

4. CAS D'USAGE

4.1. Cas d'usage des différents partenaires

La généricité du modèle nous permet de l'appliquer à différents cas d'usage. Le projet ANR Lab In Virtuo réunit une grande diversité de partenaires avec des besoins spécifiques. Ils sont toutefois réunis par deux axes essentiels : la sensorialité et l'authenticité patrimoniale [2]. Nous travaillons sur les cas suivants :

- Le parc d'activité Techn'hom à Belfort, avec notamment l'ancienne filature DMC (voir Figure 3) ;
- La machine-outil NUMASURF, une fraiseuse à commande numérique anciennement utilisée dans l'industrie automobile ;
- Cap 44, les anciens grands moulins de Nantes ;
- Et à Brest, l'ancien pont tournant et le marteau-pilon des forges de Pontaniou.

Pour chaque cas d'usage, nous nous appuyons sur une ontologie de domaine, qui dérive d'ANY-ARTEFACT. Nous définissons par exemple une ontologie des ponts, grâce à laquelle nous pouvons décrire le pont tournant de Brest, mais qui pourra être utilisée pour modéliser d'autres ponts. Chaque paysage industriel donne également lieu à la création d'un ou plusieurs environnements virtuels, basés sur des sources de natures diverses : scans 3D, reconstitutions à partir de plans ou de sources textuelles, etc.

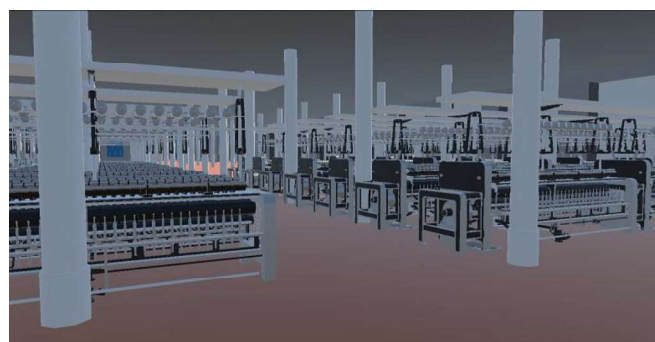


Figure 3 : Une reconstitution de l'ancienne filature DMC

4.2. Un cas d'usage précis : le marteau-pilon des forges de Pontaniou [10]

Les forges de Pontaniou, à Brest, abritent un marteau-pilon construit en 1867. En 2005, l'appareil est mis hors service, et en 2013, les ateliers des forges ferment définitivement.

En 2014, une capture LIDAR du marteau-pilon et du bâtiment qui l'abrite a été effectuée. À partir de cette capture et de photos du lieu, l'entreprise Virtualys a produit une modélisation 3D, qui sert de base à notre environnement virtuel (Figure 4).



Figure 4 : L'environnement virtuel basé sur les forges de Pontanion

Dans cet environnement, l'apprenant immergé peut assister à des scénarios pédagogiques joués par des ACA, qui représentent les ouvriers des forges et une guide. Un extrait de scénario, modélisé sous forme de diagramme d'activité UML, est représenté sur la Figure 5; il se concentre sur une activité métier, le forgeage d'une grosse pièce métallique.

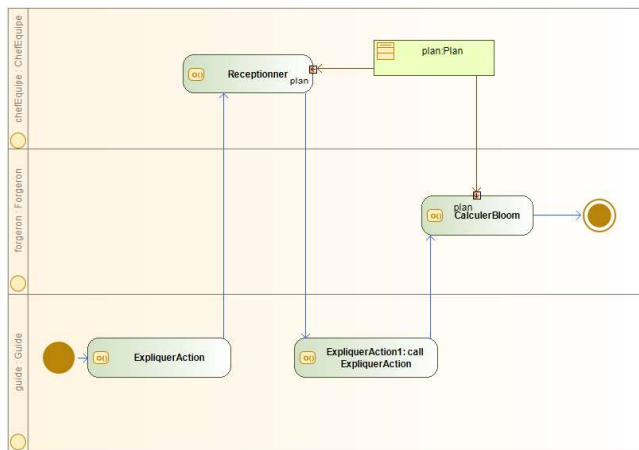


Figure 5 : Scénario « fabrication d'une pièce métallique » aux forges

Dans ce scénario, l'ACA guide explique les actions effectuées par les ACA ouvriers. Ses informations sont tirées de l'ontologie du domaine des forges, stockée dans Omeka S. La guide est également capable d'afficher des médias tirés de l'ontologie. À terme, nous souhaitons établir une liste exhaustive et sans redondance d'actions génériques pour les guides (par exemple, montrer du doigt un point de l'espace, ou changer le point de vue de l'apprenant). Ces actions doivent suffire à décrire n'importe quel scénario de médiation. Nous devons réfléchir à la définition exacte de cette liste, en échangeant avec des spécialistes de la médiation qui pourront la valider ou l'infirmer. Il nous faudra ensuite implémenter ces actions.

5. CONCLUSION

Pour le moment, nous avons établi un lien unidirectionnel entre un corpus numérique et un

environnement virtuel. Il est en effet possible de consulter une ontologie depuis l'environnement virtuel en assistant à des scénarios de médiation simples décrits manuellement. À plus long terme, on souhaite pouvoir créer, modifier et consulter un corpus directement depuis l'environnement virtuel. Ces actions s'effectueront soit à l'initiative de l'utilisateur, assisté par un ACA qui servira d'interface avec le corpus (l'agent jouera alors un rôle comparable à celui d'un interpréteur SPARQL), soit à l'initiative de l'ACA, qui pourra détecter dans son environnement des éléments peu ou mal documentés, et compléter l'ontologie en posant des questions à un expert humain. Bien que le projet ne porte pas directement sur le traitement du langage naturel, il serait intéressant de comparer notre solution avec ce que générerait un modèle de langage comme ChatGPT, notamment en termes d'authenticité et de spontanéité du discours.

Une fois cette étape franchie, nous passerons à la validation de notre hypothèse de départ grâce à des expérimentations. Pour rappel, notre hypothèse est la suivante : « l'immersion dans un EVIRS permet une amélioration de l'explicitation des connaissances, de la compréhension et de la mémorisation. » Deux expérimentations sont prévues afin de la tester : la première, dans un contexte contrôlé de laboratoire, visera à valider l'EVIRS en tant qu'interface avec le corpus numérique. Elle permettra de déterminer si l'utilisation du Lab In Virtuo permet bien une meilleure élicitation des connaissances par rapport aux méthodes classiques utilisées pour recueillir des données sur un objet patrimonial, qui sera sélectionné parmi les cas d'usage du projet. Nous recruterons une quarantaine de participants parmi des étudiants de master en Histoire des Sciences et Techniques, des étudiants en mécanique et en informatique, et des enseignants-chercheurs qui auront reçu une formation préalable. Ces participants seront répartis de manière homogène en deux groupes. L'un devra concevoir une ontologie à l'aide de méthodes standard (interview d'un expert, puis construction de l'ontologie avec un outil comme Protege); l'autre groupe produira une ontologie en utilisant le Lab In Virtuo, constituée automatiquement par les interactions entre les participants et un expert. Nous comparerons les ontologies produites entre elles, ainsi qu'avec une ontologie de référence réalisée par un expert. Pour cela, nous établirons des mesures quantitatives qui caractériseront ces ontologies selon leur niveau de complétion et leur précision : mesures de distances, qualité et granularité des concepts, couverture...

La seconde expérimentation s'adressera à un public plus large. Nous présenterons à des visiteurs de musées volontaires un scénario pédagogique dans le Lab In Virtuo. Nous recueillerons des données qualitatives sur leur niveau de mémorisation et de compréhension du sujet et sur leur ressenti, afin de comparer cette méthode de médiation à d'autres, plus traditionnelles. Cette évaluation s'appuiera sur des questionnaires classiques utilisés en psychologie cognitive et en ergonomie, comme le System Usability Scale.

RÉFÉRENCES

- [1] R. Querrec, S. Laubé, S. Garlatti, N. Richard, M.-M. Abiven, B. Rohou, Lab in Virtuo : un Environnement Virtuel Intelligent pour l'histoire et le patrimoine des paysages culturels industriels, in: Archéologie : Imagerie numérique et 3D, 2018. <https://hal-inrap.archives-ouvertes.fr/hal-02100319>.
- [2] I. Astic, M. Gasnier, J.-L.J. Kerouanton, F. Laroche, S. Laubé, M. Pardoën, R. Querrec, N. Richard, Paysages industriels culturels sensoriels (PICS) et Environnements Virtuels: Vers une nouvelle approche de l'histoire et de l'archéologie industrielle, 2020. <https://shs.hal.science/halshs-02613279/>. Report.
- [3] P.-P. Li, P.-L. Chang, A study of Virtual Reality experience value and learning efficiency of museum - using Shihsanhang museum as an example, in: 2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI), 2017: pp. 1158–1161. <https://doi.org/10.1109/ICASI.2017.7988391>.
- [4] J. Rae, L. Edwards, Virtual reality at the British Museum: What is the value of virtual reality environments for learning by children and young people, schools, and families, MW2016: Museums and the Web. 1 (2016). <https://mw2016.museumsandtheweb.com/paper/virtual-reality-at-the-british-museum-what-is-the-value-of-virtual-reality-environments-for-learning-by-children-and-young-people-schools-and-families>.
- [5] M. Dima, L. Hurcombe, M. Wright, Touching the Past: Haptic Augmented Reality for Museum Artefacts, in: 2014: pp. 3–14. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07464-1_1.
- [6] J. Gratch, A. Okhmatovskaia, F. Lamothe, S. Marsella, M. Morales, R.J. van der Werf, L.-P. Morency, Virtual Rapport, in: J. Gratch, M. Young, R. Aylett, D. Ballin, P. Olivier (Eds.), Intelligent Virtual Agents, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006: pp. 14–27. https://doi.org/10.1007/11821830_2.
- [7] L. Grassi, C.T. Recchiuto, A. Sgorbissa, Knowledge-Grounded Dialogue Flow Management for Social Robots and Conversational Agents, Int J of Soc Robotics. 14 (2022) 1273–1293. <https://doi.org/10.1007/s12369-022-00868-z>.
- [8] M. Pardoën, L'archéologie du paysage sonore: de la théorie à la pratique, RiMe. Rivista Dell'Istituto Di Storia Dell'Europa Mediterranea (ISSN 2035-794X). (2017) 181–193. <https://doi.org/10.7410/1297>.
- [9] R. Querrec, P. Vallejo, C. Buche, MASCARET: creating virtual learning environments from system modelling, in: SPIE, Engineering Reality of Virtual Reality (ERVR'13), SPIE, United States, 2013: pp. 8649–04. <https://doi.org/10.1117/12.2008186>.
- [10] M.-M. Abiven, Humanités numériques et méthodes de conservation et de valorisation des patrimoines maritimes : l'exemple des arsenaux de Brest et Venise, Theses, Université de Bretagne occidentale - Brest, 2019. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03209664>.