



In Situ Revues des patrimoines est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Reconstitution de la vie à bord d'un navire de la Compagnie des Indes orientales au XVIII^e siècle

A reconstruction of life on a East India Company ship in the 18th century

Jean-Baptiste Barreau, Ronan Gagne, Anne-Hélène Olivier, Sylviane Llinares et Valérie Gouranton

Remerciements

Nous souhaitons tout d'abord remercier Edern Olivier-Jégat, doctorant historien à l'université de Bretagne Sud pour la capture de ses mouvements dans un gymnase peu chauffé. Il nous faut ensuite saluer l'aide, lors des captures de mouvement, d'Anthony Sorel, ingénieur de recherche au laboratoire M2S. Ces travaux, enfin, n'auraient pu voir le jour sans la participation de Quentin Petit, ingénieur de recherche à la plateforme de réalité virtuelle Immersia, ainsi que celles de Arzheleenn Guillo, étudiante à l'Esir, Victor Gagne, étudiant à l'université Rennes 1, Yann Moullec, Quentin Bigot, Louis-Sinan Cappoen, Laora Heintz et Manon Georges, étudiant(e)s à l'Institut national des sciences appliquées (Insa, Rennes).

Introduction

- 1 Au cours des deux dernières décennies, le patrimoine culturel a bénéficié de l'utilisation intensive des technologies 3D, avec une large part de reconstitutions par modélisation ou numérisation¹. De nombreux monuments, bâtiments et villes ont ainsi reçu une nouvelle existence numérique. Associées à la réalité virtuelle et aux technologies de réalité augmentée, ces reconstitutions permettent de visualiser, de simuler et même d'interagir avec le passé². La réalité virtuelle occupe une place particulière dans le schéma scientifique habituel en associant sciences humaines et ingénierie. Selon Philippe Fuchs, Guillaume Moreau et Pascal Guitton, « Le but de la réalité virtuelle est de rendre possible une activité sensorimotrice et cognitive pour une personne (ou des personnes) dans un monde artificiel créé numériquement, qui

peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel³ ». Cette proposition met l'humain et son activité au centre de la réalité virtuelle.

- 2 Néanmoins, la plupart des reconstitutions ou simulations existantes restent inertes, dépourvues de substance de vie. Dans le contexte des bâtiments ou de la reconstitution urbaine, cela conduit à une apparence de sites endormis. Quelques travaux ont étudié l'introduction d'humains virtuels dans des reconstitutions de sites historiques⁴. Les humains virtuels peuvent également être associés à des agents afin de simuler des comportements sociaux⁵. Dans le cas particulier de bâtiments mobiles tels que les navires, l'absence de vie est encore plus évidente et gênante pour l'utilisateur. L'activité à bord d'un navire est constituée de nombreuses tâches spécifiques et précises. Ces activités répondent aux contraintes particulières de la vie maritime, comme par exemple mesurer la position du navire avec différents instruments, sonner la cloche de changement de quart, entretenir le navire, et rassemblent des corps de métiers variés. Plus qu'une activité sociale qui pourrait être modélisée par intelligence artificielle, l'activité à bord d'un navire s'apparente à un ballet chorégraphié où chaque marin connaît sa place et où chaque tâche contribue à maintenir le cap. Travailler sur la question du geste dans un univers contraint et mouvant, dans l'esprit d'une « archéologie du geste » et dans la perspective d'un patrimoine immatériel, permet de confronter de manière expérimentale les conditions mêmes du mouvement et du travail des marins aux données historiques. Le ratio d'1 m² par personne disponible sur ce type de navire, durant 5 à 6 mois de navigation, s'ajoute aux contraintes qui caractérisent la vie à bord. L'humain virtuel offre la possibilité d'observer les gestes répétitifs et ce qui peut caractériser l'habileté du marin et ses savoirs professionnels (qu'ils soient tacites, explicites ou incorporés). Ce qui permet aussi de penser la question du geste professionnel dans l'apprentissage et la transmission des savoirs, on embarque comme mousse très jeune, à 12 ans, voire parfois moins. Fondamentalement, cette étude du geste professionnel restitué pose la question du positionnement des corps et celle de la difficulté à se déplacer (souvent accroupi), un peu comme peuvent l'éprouver les mineurs dans des galeries étroites et sur des fronts de taille réduits. On peut donc saisir l'activité dans son écologie et essayer de comprendre les processus cognitifs des gestes dans la mesure où les marins agissent en situation.
- 3 Nous proposons une reconstitution de différentes activités de la vie à bord d'un navire de la Compagnie des Indes du XVIII^e siècle par des techniques de capture de mouvements et d'animations 3D interactives. Ce travail est issu d'une collaboration entre des historiens et des chercheurs et ingénieurs en réalité virtuelle.

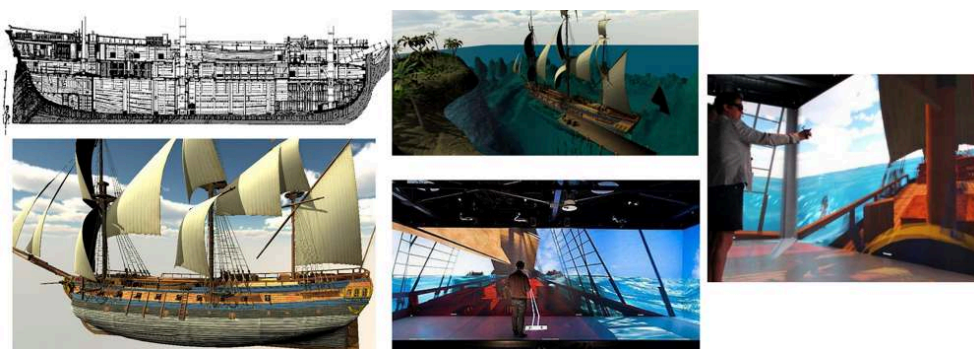
Contexte

- 4 Particulièrement représentatif des navires de la Compagnie des Indes, le *Boullongne* avait été construit par Gilles Cambry, jaugeant 600 tonneaux et portant le nom de celui qui fut contrôleur général des finances de 1757 à 1759, Jean de Boullongne (1690-1769), fils du premier peintre du roi, Louis II de Boullongne (1654-1733). Lancé en septembre 1758, son premier voyage débuta le 31 mars 1759 mais il fut directement victime de la guerre de Sept Ans, car sa courte carrière s'acheva par sa prise le 27 décembre 1761, alors que le comte Jean Baptiste Charles Henri Hector d'Estaing (1729-1794), célèbre officier d'infanterie, se trouvait à son bord. Il termina sa carrière

comme bateau de transport dans la Royal Navy à partir de 1776 et enfin comme partie d'un quai du port de Halifax (Nouvelle-Écosse).

- 5 L'équipage du *Boullongne* est constitué de 133 personnes se répartissant en un état-major (9), des officiers mariniers (20), des officiers non mariniers (5), des volontaires et pilotins (11), des matelots (56), des novices (12), des domestiques (6) et des mousques (15). D'autre part, on peut comparer ce navire au *Duc de Praslin* (entre 600 et 700 tx), qui embarquait également 27 passagers avec leurs 22 domestiques, ainsi que 18 soldats.
- 6 En 2014, un travail de reconstitution du navire en réalité virtuelle, visant à fournir une simulation navale interactive réaliste, a été effectué⁶. Le modèle 3D du navire, produit dans le cadre du Conservatoire numérique du patrimoine archéologique de l'Ouest⁷, a été intégré au sein d'une simulation d'océan, comprenant notamment le rendu physique de la flottabilité. Cette simulation permet en outre à un utilisateur de marcher autour du navire, à l'échelle de 1:1, et de le diriger grâce à une interaction naturelle. Pour renforcer la sensation d'être à bord, ont été également ajoutés :
 - un environnement sonore mélangeant divers sons spatialisés,
 - une simulation de météorologie modifiable dynamiquement,
 - diverses interactions permettant à l'utilisateur de mettre en action des éléments du bateau (roue, canons, etc.)
 - trois premiers marins virtuels aux animations simples.
- 7 Ces premiers développements [fig. 1] ont permis à des historiens d'embarquer sur *Le Boullongne* et de mieux comprendre comment la vie était organisée à bord. Ils ont également été présentés dans le cadre de plusieurs expositions avec des équipements de type CAVE⁸ et HMD⁹.

Figure 1



Processus de production de l'environnement archéologique virtuel du *Boullongne*.

Images : Jean-Baptiste Barreau, Ronan Gagne, Anne-Hélène Olivier, Sylviane Llinarès & Valérie Gouranton / clichés : CNPAO 2015.

Humains virtuels

- 8 L'humain virtuel constitue naturellement la clé de voûte de l'utilisation des simulations numériques dans le cadre des sciences humaines. L'enjeu majeur va ainsi être de donner vie aux environnements virtuels en leur conférant une dimension dynamique et sociale. En particulier, après une revue des différents usages rencontrés dans le domaine de l'archéologie, on peut mettre en évidence deux cas d'application majeurs. D'une part, à une échelle locale, les humains virtuels sont mis en scène dans des

activités impliquant plusieurs individus, d'autre part, une foule d'humains virtuelle est simulée afin de rendre compte de comportements du passé plus globaux.

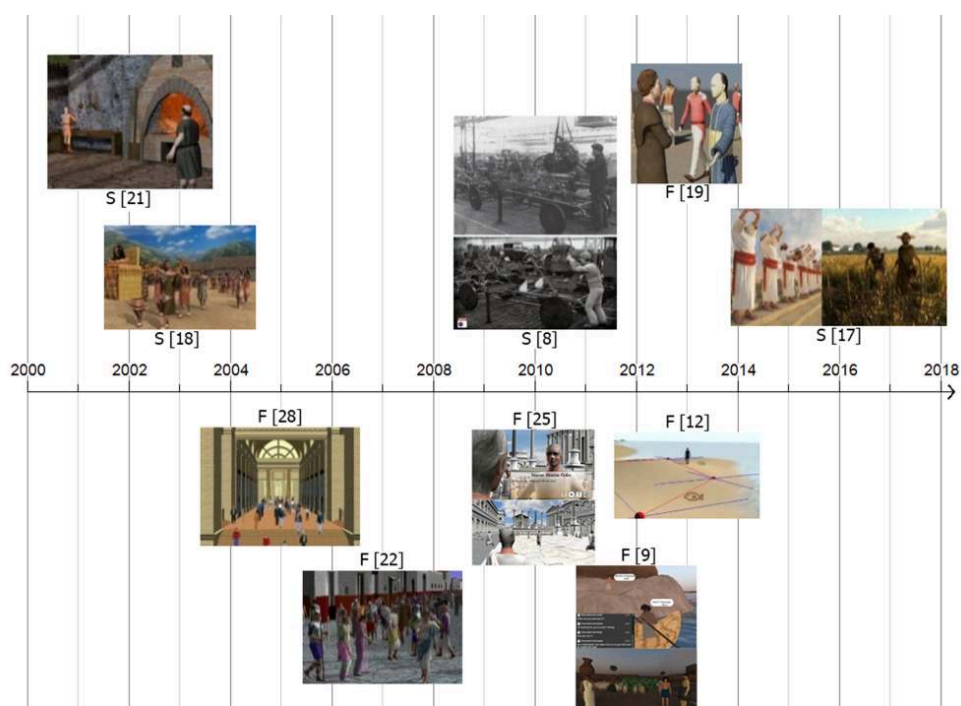
Mises en scène

- 9 Plusieurs utilisations de simulations d'humains virtuels en archéologie ont été utilisées dans le cadre de reconstitutions de scènes du passé. En 2002, le projet LIFEPLUS avait pour objectif la restitution de scènes pompéiennes illustrées sur d'anciennes fresques par le biais de techniques de réalité virtuelle, mixte, en temps réel ou non¹⁰. Des personnages aux comportements dramaturgiques peuplaient des scènes de la vie quotidienne. D'autres travaux ont suivi, touchant au cérémoniel¹¹, à l'industriel¹² et ayant des finalités plutôt pédagogiques et médiatiques. Les dernières facilités d'intégration et d'animation d'humains virtuels impliquent une plus grande création et diffusion d'images aux grandes qualités esthétiques, mais parfois non sourcées ni documentées¹³.

Foules

- 10 Au-delà des scènes, il existe en archéologie de nombreux exemples de simulation de foule d'agents. Il s'agit d'utiliser les multiples travaux issus de la recherche en informatique¹⁴ afin de modéliser les individus comme des particules qui interagissent avec leur environnement par le biais d'un ensemble de forces appliquées. En 2005, des piétons virtuels autonomes peuplent la restitution de la gare originelle de Pennsylvania Station à New York¹⁵. L'objectif de cette simulation est plutôt de tendre vers la robustesse et le réalisme. Des simulations similaires de Romains sont réalisées en 2007 dans les rues de la Rome antique¹⁶ et Pompéi¹⁷. Les simulations qui suivent sont souvent associées à différents systèmes d'interactions. En 2010, une foule de Romains virtuels marchent à travers le Forum pour atteindre des points d'intérêt distribués au hasard. L'utilisateur, à travers son avatar, est libre d'interpeller l'un d'eux pour entamer un dialogue par le biais d'un texte simple¹⁸. Une simulation similaire des habitants de la ville d'Uruk (ville de l'ancienne Mésopotamie, vers 5000 av. J.-C) leur permet de manger, dormir, travailler et communiquer entre eux¹⁹. En 2013, une simulation de communautés mésolithiques permet aux chercheurs de prendre des décisions au sujet du comportement passé. Dans celle-ci, les agents réagissent à des besoins, des contraintes environnementales et de ressources. Des interactions existent également entre la végétation, les animaux et les groupes humains²⁰. Une autre simulation du port de commerce de Georgetown (État de Penang, Malaisie) dans les années 1800 donne l'occasion d'observer des groupes ethniques et leurs changements de comportement dus aux interactions interethniques et à l'arrivée de bateaux²¹. Le système simule 236 agents et l'auteur indique que ce faible nombre rend l'observation et la compréhension des activités plus faciles. Les différents travaux qui illustrent l'utilisation de personnages virtuels et de foules dans des reconstitutions historiques peuvent être présentés de la manière suivante [fig. 2].

Figure 2



Représentation chronologique de travaux de simulations d'humains virtuels mis en scène (S) ou constituants de foule d'agents (F).

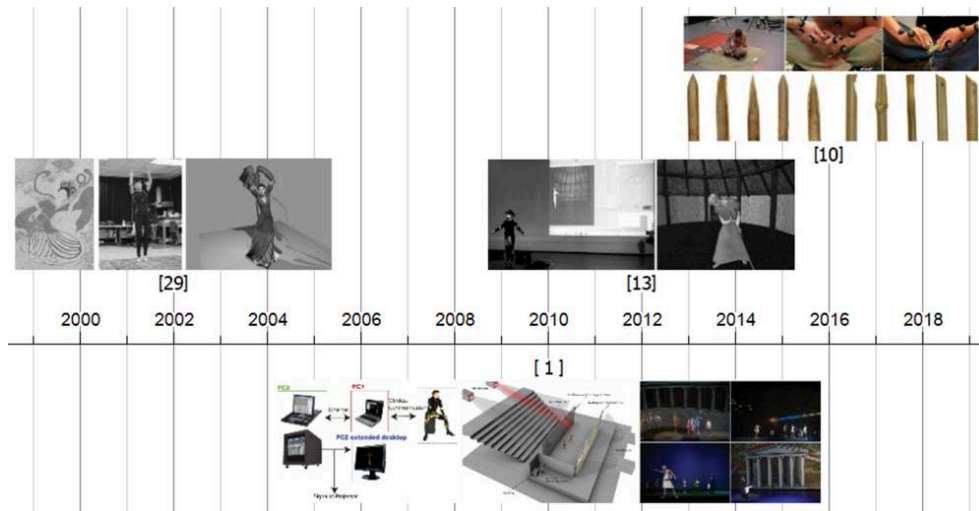
Image : Jean-Baptiste Barreau, Ronan Gaugne, Anne-Hélène Olivier, Sylviane Llinarès & Valérie Gouranton / cliché : CNPAO 2017.

Capture de mouvements

- 11 La capture de mouvements consiste à enregistrer, grâce à des systèmes de mesure (opto-électroniques, vidéo, etc.), le mouvement réalisé par une personne dans les trois dimensions de l'espace. Grâce à des techniques d'animation, le mouvement enregistré peut être reproduit par un humain virtuel. La « motion capture » a été utilisée dans les reconstitutions historiques dès le début des années 2000 avec une peinture de l'ancienne capitale Chang'an de la province du Shaanxi (Chine) qui illustre des scènes de danse de la dynastie Tang. Les chercheurs ont eu l'idée de reconstituer ces scènes grâce à une danseuse spécialisée dans un dispositif de motion capture²². En 2010, un système de réalité mixte²³ permet au public d'assister à un spectacle de 45 min narrant la quête d'un père et son fils dans des reconstitutions de Milet et Priène, deux villes de la Grèce antique. Un avatar d'Ésope (écrivain grec), joué en *backstage* par un acteur avec capture de mouvement, est projeté sur un écran semi-transparent, derrière lequel des acteurs réels jouent devant un autre écran opaque projetant le décor²⁴. Plus tard, la plateforme Motion in place²⁵ cherche à permettre la reconstitution de mouvements humains du passé. Dans son article, Stuart Dunn évoque la reconstitution de mouvements d'habitants d'une maison du sud britannique à l'âge de Fer. Dernièrement, la motion capture a permis l'étude de mouvements de mains pour la taille de bambou²⁶. L'objectif a été de décrire et quantifier les stratégies de manipulation d'outils préhistoriques en lien avec l'évolution de la dextérité des mains. Ces différents travaux, qui illustrent l'utilisation de capture de mouvement pour de la valorisation ou de l'analyse de geste, sont également présentés de manière chronologique en fig. 3.

- 12 Nous proposons d'utiliser la capture de mouvement afin de reconstituer certaines activités de la vie à bord du *Boullongne*, à partir des informations fournies par les historiens. L'enregistrement numérique de ces différentes activités permet d'animer des personnages modélisés en 3D et de les intégrer dans la reconstitution virtuelle interactive du navire.

Figure 3



Représentation chronologique de travaux d'utilisation de *motion capture* en archéologie.

Image : Jean-Baptiste Barreau, Ronan Gagne, Anne-Hélène Olivier, Sylviane Llinarès & Valérie Gouranton / cliché : CNPAO 2017.

Méthode

- 13 La méthode globale suivie pour la réalisation du projet a été basée sur une collaboration suivie, interdisciplinaire, entre les historiens du département d'Histoire maritime, l'équipe de production 3D du laboratoire d'Archéologie, Archéoscience et Histoire et l'équipe de réalité virtuelle du laboratoire d'informatique. Ce mode de fonctionnement a permis de définir des scènes de vie techniquement réalisables et porteuses de sens pour les historiens.
- 14 La réalisation technique des scènes est constituée de trois étapes principales, la modélisation des personnages, la capture de mouvement et l'animation des personnages.
- La modélisation a pour but de créer un ensemble de personnages, ainsi que les vêtements associés. La question de la crédibilité historique se pose donc dès cette étape et les historiens associés au projet ont rassemblé une iconographie de costumes d'époque basée notamment sur des peintures de cette époque.
 - La capture de mouvement est l'étape centrale de la reconstitution de la vie à bord. Les historiens ont établi une liste des différentes activités ciblées par le projet. Ces activités ont été rassemblées dans une base de données qui a permis d'établir le type de personnages impliqués dans l'activité, le lieu de l'activité sur le navire, les objets annexes utilisés dans le cadre de l'activité et une description de l'activité avec des éléments tels que la posture, les gestes et les interactions avec d'autres activités. Les différentes activités ont été ensuite reproduites par un historien de l'équipe, dans un système de capture de mouvement.

- L'animation est une étape plus technique, mais fondamentale dans le travail de reconstitution des scènes de vie à bord. Elle consiste à transformer les données brutes de captures de mouvements en animations de personnages 3D.

Modélisation de marins

- 15 Que ce soit, comme ici, pour des marins d'un navire de la Compagnie des Indes ou pour toute autre restitution 3D d'hypothétiques humains du passé²⁷, notre approche est d'essayer de minimiser le travail infographique afin de maximiser notre capacité de production, tout en conservant une authenticité historique. Ainsi, le processus décrit ci-dessous s'attache à l'optimisation du paramétrage des morphologies corporelles, de la création de vêtements spécifiques, des opérations de *rigging*, procédé qui dote un objet 3D d'un squelette mobile, et de *skinning*, procédé qui attache le maillage de l'objet 3D sur son squelette.

Morphologies corporelles

- 16 Les personnages représentant les marins à bord ont été modélisés à l'aide de logiciels dédiés, le logiciel de modélisation 3D Blender²⁸, et le logiciel spécialisé dans la création de personnages virtuels Adobe Fuse CC²⁹. Ce dernier présente une bibliothèque de parties du corps, de vêtements (hauts, pantalons, chapeaux...) et de textures. Il prend ainsi en charge l'assemblage de ces différentes parties, leurs déformations éventuelles et l'application de diverses textures. Concernant ces éléments paramétrables, ses bibliothèques ont été suffisamment riches pour le projet.

Vêtements

- 17 Afin de reproduire le plus fidèlement possible certaines tenues de marins nécessaires pour le projet à partir des documentations fournies³⁰, il a été nécessaire de les modéliser. Cette étape est très coûteuse en temps, certains vêtements spécifiques devant être modélisés complètement. D'autres vêtements plus standards ont pu être obtenus en raffinant des éléments déjà présents dans la bibliothèque du logiciel Adobe Fuse CC [fig. 4].

Figure 4



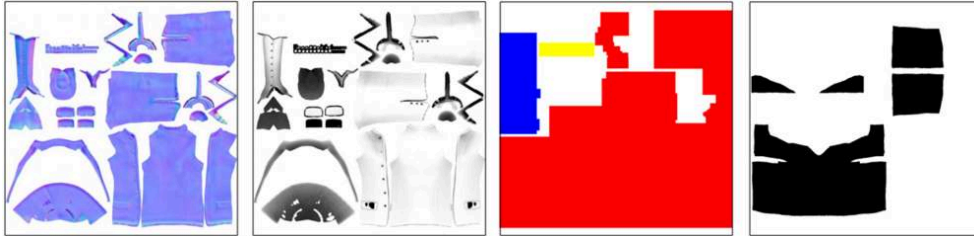
Veste d'origine issue de la bibliothèque du logiciel Adobe Fuse CC et itérations de modélisation dans le logiciel de modélisation 3D Blender.

Image : Jean-Baptiste Barreau, Ronan Gagne, Anne-Hélène Olivier, Sylviane Llinarès & Valérie Gouranton / cliché : CNPAO 2017.

- 18 Une autre contrainte à prendre en compte dans le cadre de notre projet est l'utilisation des modèles réalisés en réalité virtuelle, ce qui nécessite des optimisations des maillages et des rendus associés afin de conserver des impressions de relief et

d'ombrage. Ceci passe notamment par des étapes de création de *normal maps*³¹ et *ambient occlusion maps*³². Une autre optimisation mise en œuvre est la suppression des parties du corps du personnage situées en dessous des vêtements, par le biais d'une autre image appelée « *occlusion mask* » [fig. 5].

Figure 5



Exemples de *normal map* (relief), *ambient occlusion map* (ombrage), *color mask* et *occlusion mask* utilisés par Adobe Fuse CC.

Image : Jean-Baptiste Barreau, Ronan Gaugne, Anne-Hélène Olivier, Sylviane Llinarès & Valérie Gouranton / cliché : CNPAO 2017.

Rigging et skinning

- 19 L'objectif de ces deux étapes est d'associer un squelette virtuel aux personnages afin de contraindre les mouvements possibles (*rigging*), et d'attribuer différentes parties du maillage 3D concerné à chaque armature du squelette afin de produire des déformations des maillages cohérents avec les mouvements du personnage au niveau des articulations (*skinning*). Cette dernière étape amène à des modèles de marins fins prêts à être animés.

Capture de mouvements

- 20 La session de capture de mouvements a été réalisée au sein du plateau Immermove de la plateforme Immerstar³³ [fig. 6, gauche], dans un gymnase dédié à la capture de mouvements situé dans les locaux du laboratoire M2S.

Figure 6



À gauche : session de capture de mouvement sur le plateau Immermove dans les locaux du laboratoire M2S. À droite : positionnement des marqueurs.

Photo : Jean-Baptiste Barreau, Anne-Hélène Olivier, Ronan Gaugne / cliché : CNPAO 2015.

- 21 Pour suivre les mouvements de l'utilisateur, 51 marqueurs réfléchissants ont été placés sur des positions anatomiques précises d'un historien volontaire pour réaliser les activités ciblées dans le projet [fig. 6, droite]. Dans chacune des conditions, le mouvement de ces marqueurs a été enregistré grâce au système opto-électronique Vicon (Oxford Metrics), constitué de 16 caméras synchronisées à 120 Hz. Différents objets et accessoires ont également été utilisés pour réaliser les activités. Dans ce cas, les objets manipulés ont également été équipés de marqueurs [fig. 7].

Figure 7



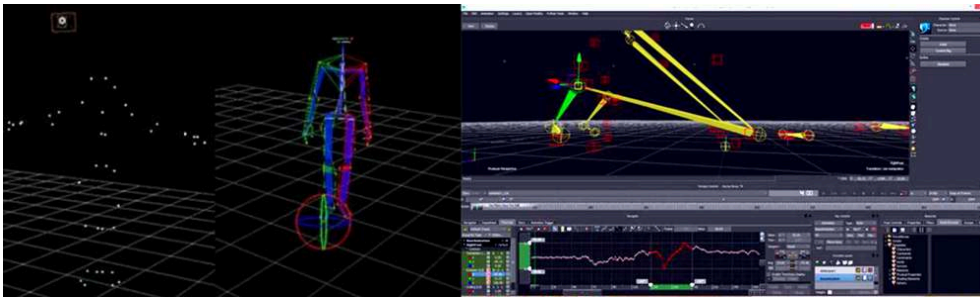
Reproduction d'activités avec accessoires.

Photo : Jean-Baptiste Barreau, Anne-Hélène Olivier, Ronan Gagne / cliché : CNPAO 2015.

Animations

- 22 Les données obtenues par capture des mouvements nécessitent un certain nombre de traitements pour aboutir à des animations applicables à des personnages numériques. Ces différents traitements sont semi-automatisés par des logiciels dédiés mais requièrent tout de même des interventions humaines coûteuses en temps.
- 23 Le fichier initial issu de la capture de mouvement est constitué d'une succession (*frames*) de nuages de points correspondant aux différents marqueurs présents sur la personne ou l'objet. Les *frames* correspondent à l'enregistrement image par image des mouvements. Une première étape de traitement des données est nécessaire pour nommer chaque marqueur et reconstruire le squelette associé au mouvement capturé. Les traitements suivants consistent à corriger les problèmes d'occlusions de marqueurs dans les frames ainsi que les incohérences entre marqueurs afin de reconstituer le squelette de la personne. Pour les objets utilisés comme accessoires, il faut définir un squelette spécifique pour chacun d'entre eux.
- 24 La génération des animations dans le projet s'est basée sur trois logiciels différents [fig. 8] : Vicon Blade pour le traitement des données de capture de mouvement et la génération des squelettes animés, Motion Builder pour la correction des animations et Unity 3D pour l'intégration des animations dans la scène globale du navire, l'association des accessoires avec les personnages et l'interaction avec les animations.

Figure 8



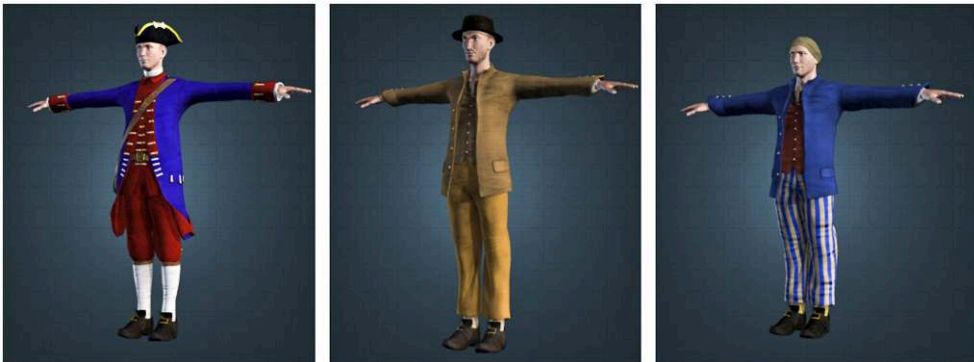
Traitement des données de capture de mouvement et des animations.

Image : Jean-Baptiste Barreau, Ronan Gaugne, Anne-Hélène Olivier, Sylviane Llinarès & Valérie Gouranton / cliché : CNPAO 2016.

Discussion

- 25 Dans le cadre du projet, trois tenues de marin, constituées en tout de huit vêtements, ont été réalisées, qui ont permis d'habiller trois officiers de la Compagnie des Indes ; trois canotiers et trois matelots aux morphologies et visages variés ont ainsi été créés [fig. 9].

Figure 9



Modèles 3D *riggés* d'un officier de la Compagnie des Indes, d'un canotier et d'un matelot.

Images : Jean-Baptiste Barreau, Ronan Gaugne, Anne-Hélène Olivier, Sylviane Llinarès & Valérie Gouranton / clichés : CNPAO 2017.

- 26 Au total, plus d'une vingtaine d'animations ont été produites durant le projet, tels que le briquage de pont, une manœuvre de cabestan, la montée dans les haubans, une prise de mesure par octant, un repas d'officiers et un repas d'équipage. Ces animations ont été intégrées dans la reconstitution du *Boullongne* [fig. 10]. Les animations sont activées par « *trigger* », c'est-à-dire qu'elles sont liées à un événement déclencheur. Dans notre cas, le déclencheur est le passage du visiteur dans une zone définie [fig. 11].

Figure 10



Marins écrivant un journal, briquant le pont, tenant une lanterne dans la cale, et sonnant la cloche.
 Images : Jean-Baptiste Barreau, Ronan Gagne, Anne-Hélène Olivier, Sylviane Llinarès & Valérie Gouranton / clichés : CNPAO 2017.

Figure 11



Zone de déclenchement de l'animation du marin écrivant son journal.
 Image : Jean-Baptiste Barreau, Ronan Gagne, Anne-Hélène Olivier, Sylviane Llinarès & Valérie Gouranton / cliché : CNPAO 2017.

Conclusion et perspectives

- 27 Détachés des problématiques de narration cinématographique ou vidéoludiques associées traditionnellement aux humains virtuels, ce travail de production de scènes de vie virtuelles nous a permis d'appréhender la majeure partie du spectre de contraintes qui lui sont inhérentes. Les solutions techniques les résolvant étant de plus en plus efficaces, le peuplement des environnements archéologiques virtuels devient presque aisé et, s'il est convenablement confronté aux historiens et archéologues, nous apparaît susceptible de nouvelles réflexions scientifiques réellement pertinentes.
- 28 Dans l'avenir, pour restituer ainsi les gestes des humains virtuels du passé dédiés à des tâches disparues, nous partons sur l'hypothèse d'une démocratisation des systèmes de capture de mouvement permettant de simuler des humains engagés dans des activités du passé. Pour l'archéologue effectuant une session travail en réalité virtuelle et pouvant vérifier la cohérence de l'environnement archéologique virtuel sur lequel il travaille³⁴, il serait ainsi envisageable de :
- quantifier les rendements des humains virtuels en activité,
 - faire interagir cette activité avec l'environnement archéologique virtuel,
 - déduire de ces activités une narration du quotidien du site archéologique concerné.

NOTES

1. ARNOLD David, « Computer graphics and cultural heritage, part 2: Continuing inspiration for future tools », *IEEE computer graphics and applications*, 2014, vol. 34, n° 4, p. 70-79 ; BARREAU Jean-Baptiste, BERNARD Yann, PETIT Quentin *et al.*, « Combination of 3D scanning, modeling and analyzing methods around the castle of Coatfrec reconstitution », in *Euro-Mediterranean Conference*, Springer / Cham, 2014. p. 418-426.
2. GAUGNE Ronan, GOURANTON Valérie, DUMONT Georges *et al.*, « Immersia, an open immersive infrastructure: doing archaeology in virtual reality », *Archeologia e Calcolatori*, suppl. 5, 2014, p. 1-10 ; NICOLAS Théophile, GAUGNE Ronan, TAVERNIER Cédric *et al.*, « Touching and interacting with inaccessible cultural heritage ». *Presence. Teleoperators and virtual environments*, 2015, vol. 24, n° 3, p. 265-277 ; VERGNIEUX Robert, « Archaeological research and 3D models (restitution, validation and simulation) », *Virtual Archaeology Review*, 2011, vol. 2, n° 4, p. 39-43.
3. FUCHS Philippe, MOREAU Guillaume & GUITTON Pascal (dir.). *Virtual reality. Concepts and technologies*, CRC Press, 2011.
4. MAGNENAT-THALMANN Nadia, FONI Alessandro Enrico, PAPAGIANNAKIS George *et al.*, « Real time animation and illumination in Ancient Roman sites », *IJVR*, 2007, vol. 6, n° 1, p. 11-24 ; MAGNENAT-THALMANN Nadia, PAPAGIANNAKIS George, PONDER Michal *et al.*, « LIFEPLUS: revival of life in ancient Pompeii ». *Proc. VSMM (Virtual Systems and multimedia)*, 2002.
5. CH'NG Eugene, GAFFNEY Vincent L. *et al.*, « Simulation and visualisation of agent survival and settlement behaviours in the hunter-gatherer colonisation of Mesolithic landscapes », in *Visual heritage in the digital age*, Londres, Springer, 2013, p. 235-258 ; LIM Chen Kim, CANI Marie-Paule, GALVANE Quentin *et al.*, « Simulation of past life: controlling agent behaviors from the

- interactions between ethnic groups ». in *Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, 2013, IEEE, 2013, p. 589-596.
6. BARREAU Jean-Baptiste, NOUVIALE Florian, GAUGNE Ronan *et al.*, « An immersive virtual sailing on the 18th-century ship *Le Boullongne* », *Presence. Teleoperators and virtual environments*, 2015, vol. 24, n° 3, p. 201-219.
 7. BARREAU Jean-Baptiste, GAUGNE Ronan, BERNARD Yann *et al.* « The West Digital Conservatory of Archaeological Heritage project », in *Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, 2013, IEEE, 2013, p. 547-554.
 8. Infrastructure immersive basée sur de la projection stéréoscopique multi-écrans.
 9. Casque de réalité virtuelle.
 10. MAGNENAT-THALMANN Nadia, PAPAGIANNAKIS George, PONDER Michal *et al.*, « LIFEPLUS: Revival of life in ancient Pompeii », art. cit.
 11. LECOCQ Françoise, « Reconstitution virtuelle de Rome antique », *Virtual Retrospect*, 2003, vol. 1, p. 77-84.
 12. BENOIT Serge, KILOUCHI Shadia, MICHEL Alain *et al.*, « Usines 3D. La simulation pour questionner les sources et les vestiges de l'histoire industrielle », in *Virtual Retrospect 2009*, Bordeaux, Ausonius, 2009, p. 31-40.
 13. KRIEK Mikko & HAARS Marjolein, *Bcl archaeological support. Illustraties* [document électronique], 2016 [en ligne], <http://www.bcl-support.nl/onze-specialismen/illustraties/id=2/#prettyPhoto> [lien valide en février 2018].
 14. HELBING Dirk & MOLNAR Peter, « Social force model for pedestrian dynamics », *Physical Review E*, 1995, vol. 51, n° 5, p. 4282 ; REYNOLDS Craig W., « Steering behaviors for autonomous characters », in *Game developers conference*, 1999, p. 763-782 ; RODRIGUEZ Samuel, DENNY Jory, ZOURNOS Takis *et al.*, « Toward simulating realistic pursuit-evasion using a roadmap-based approach », in *International Conference on motion in games*, Berlin / Heidelberg, Springer, 2010, p. 82-93.
 15. SHAO Wei & TERZOPOULOS Demetri, « Autonomous pedestrians », in *Proceedings of the 2005 ACM SIGGRAPH / Eurographics symposium on computer animation*, ACM, 2005, p. 19-28.
 16. MUSSE Soraia Raupp & THALMANN Daniel, « Book contribution », in *Crowd simulation*, Londres, Springer, 2007, p. 219-220.
 17. MAÏM Jonathan, HAEGLER Simon, YERSIN Barbara *et al.*, « Populating ancient Pompeii with crowds of virtual Romans », in *Proceedings of the 8th International Symposium on Virtual Reality, Archeology and Cultural Heritage-VAST*, 2007.
 18. PANZOLI David, PETERS Christopher, DUNWELL Ian, *et al.*, « A level of interaction framework for exploratory learning with characters in virtual environments », in *Intelligent Computer Graphics 2010*. Berlin / Heidelberg, Springer, 2010, p. 123-143.
 19. BOGDANOVYCH Anton, IJAZ Kiran & SIMOFF Simeon, « The city of Uruk: teaching ancient history in a virtual world », in *International Conference on Intelligent Virtual Agents*, Berlin / Heidelberg, Springer, 2012, p. 28-35.
 20. CH'NG Eugene, GAFFNEY Vincent L. *et al.*, « Simulation and visualisation of agent survival and settlement behaviours in the hunter-gatherer colonisation of Mesolithic landscapes », art. cit., p. 235-258.
 21. LIM Chen Kim, CANI Marie-Paule, GALVANE Quentin *et al.*, « Simulation of past life: controlling agent behaviors from the interactions between ethnic groups », art. cit., p. 589-596.
 22. TANG Shen-Kai & LIU Yu-Tung, « A digital reconstruction procedure for a disappeared city space and its activities », in *eCAADe 20 [design e-ducation] Modeling real and virtual worlds. Session 16*, 2002 [en ligne], <http://papers.cumincad.org/data/works/att/b605.content.pdf> [lien valide en avril 2020].
 23. Système avec lequel des objets physiques du monde réel et numériques du monde virtuel coexistent et peuvent interagir en temps réel.

24. ANDREADIS Anthousis, HEMERY Alexander, ANTONAKAKIS Andronikos *et al.*, « Real-time motion capture technology on a live theatrical performance with computer generated scenery », in *Informatics (PCI), 2010 14th panhellenic conference on IEEE*, 2010, p. 148-152.
25. DUNN Stuart, WOOLFORD Kirk, NORMAN Sally-Jane *et al.* « Motion in place. A case study of archaeological reconstruction using motion capture », in *Revive the past. Proceedings of the 39th conference in computer applications and quantitative methods in archaeology*, Amsterdam, Amsterdam University Press, 2012, p. 98-106.
26. BOREL Antony, CHÈZE Laurence & POUYDEBAT Emmanuelle, « Sequence analysis of grip and manipulation during tool using tasks. A new method to analyze hand use strategies and examine human specificities », *Journal of archaeological method and theory*, 2017, vol. 24, n° 3, p. 751-775.
27. BARREAU, Jean-Baptiste, PETIT, Quentin, BERNARD, Yann, *et al.* « 3D reconstitution of the Loyola sugar plantation and virtual reality applications ». Dans *Proceedings of Computer Applications & Quantitative Methods in Archaeology, CAA*, 2015.
28. <https://www.blender.org/>
29. <http://www.adobe.com/fr/products/fuse.html>
30. BOUDRIOT Jean, *Compagnie des Indes 1720-1770. Le Boullongne: vaisseau de 600 tx; 1759-1761. Du constructeur G. Cambry. Monographie*, Paris, Boudriot, 1983.
31. Image qui simule graphiquement des détails géométriques sans ajouter de polygones à la géométrie réelle.
32. Image fournissant des informations sur les zones du modèle qui doivent recevoir un éclairage élevé ou faible, et générée ici avec l'outil <http://www.xnormal.net/>
33. <https://www.inria.fr/en/centre/rennes/news/discover-the-experimental-platform-immersar>
34. BARREAU Jean-Baptiste, « Techniques de production, d'exploration et d'analyse d'environnements archéologiques virtuels », thèse de doctorat soutenue à l'Institut national des sciences appliquées (Insa, Rennes), 2017.

RÉSUMÉS

Les reconstitutions historiques basées sur les nouvelles technologies telles que la réalité virtuelle tendent à se développer. Cependant, ces reconstitutions proposent pour la plupart des univers figés, vidés de l'activité humaine. Dans le cadre d'une collaboration entre un centre de recherche en histoire, un institut de recherche en informatique et la plateforme de production 3D du Conservatoire numérique du patrimoine archéologique de l'Ouest (CNPAO), nous proposons une reconstitution d'activités de la vie à bord du navire de la Compagnie des Indes orientales *Le Boullongne*, fondée sur de la capture de mouvements.

Un premier travail, réalisé en 2014, a permis de produire une simulation fonctionnelle et interactive du *Boullongne* en réalité virtuelle. Cette reconstitution intégrait déjà quelques marins et animaux virtuels animés, mais sans activité significative. Dans cette nouvelle phase, une dizaine de scènes de la vie quotidienne ont été identifiées à travers l'étude de documents historiques et de gravures. Ces scènes ont été scénarisées et jouées par les historiens impliqués dans le projet, puis capturées et traitées par les chercheurs en informatique. Les marins numériques ont été modélisés par le CNPAO, en collaboration avec les historiens. Plusieurs scènes ont été finalement intégrées dans le *Boullongne* virtuel, donnant ainsi à la reconstitution

une dimension humaine pour ce témoignage de la vie des marins à bord des navires du XVIII^e siècle.

Historical reconstructions based on new technologies such as virtual reality are now being developed. However, most of these reconstructions offer frozen worlds, emptied of human activity. As part of a collaboration between a research centre in history, a research institute in computer science and the 3D production platform CNPAO “Digital Conservatory of Western Archaeological Heritage”, we offer a reconstruction of activities of life aboard the ship of the French East India Company, *Le Boullongne*, based on motion capture

A first work made in 2014 produced a functional and interactive simulation of the *Boullongne*, with virtual reality. This reconstruction already included some animated virtual sailors and animals, but without significant any activity. In this new work, about ten scenes of everyday life have been identified through the study of historical documents and engravings. These scenes were scripted and played by historians involved in the project, and captured and processed by computer scientists. Digital mariners have been modelled by the CNPAO, in collaboration with historians. In the end, several scenes were integrated in the virtual *Boullongne* thus giving to the reconstitution a human dimension for this testimony of the life of the sailors aboard the ships of the 18th century.

INDEX

Mots-clés : réalité virtuelle, histoire maritime, capture de mouvement, Compagnie des Indes, animations 3D, interactions 3D

Keywords : virtual reality, maritime history, motion capture, East India Company, 3D animations, 3D interactions

AUTEURS

JEAN-BAPTISTE BARREAU

Ingénieur d'étude, responsable du Conservatoire numérique du patrimoine archéologique de l'Ouest (CNPAO), université de Rennes (CNRS / ministère de la Culture, CReAAH, UMR 6566)
jean-baptiste.barreau@univ-rennes1.fr

RONAN GAUGNE

Ingénieur de recherche, responsable de la plateforme Immersia, Univ Rennes, Inria, CNRS, IRISA
ronan.gaugne@irisa.fr

ANNE-HÉLÈNE OLIVIER

Enseignante-chercheuse en biomécanique, université de Rennes (Inria, M2S - EA 7470)
anne-helene.olivier@univ-rennes2.fr

SYLVIANE LLINARES

Professeure en histoire maritime et histoire des techniques, XVII^e-XIX^e siècles, université Bretagne Sud, Lorient (CNRS, Temos « Temps, Mondes, Sociétés »)
sylviane.llinares@univ-ubs.fr

VALÉRIE GOURANTON

Enseignante-chercheure en réalité virtuelle, Univ Rennes, Inria, CNRS, IRISA
valerie.Gouranton@irisa.fr