Outils de réalité virtuelle pour l'histoire et l'archéologie. Recherche, diffusion, médiation : le cas des théâtres de la Foire Saint-Germain.

Paul François

▶ **To cite this version:**

Paul François. Outils de réalité virtuelle pour l'histoire et l'archéologie. Recherche, diffusion, médiation : le cas des théâtres de la Foire Saint-Germain.. Synthèse d'image et réalité virtuelle [cs.GR]. Ecole Centrale de Nantes, 2021. Français. NNT : . tel-03351927v1

HAL Id: tel-03351927

https://hal.science/tel-03351927v1

Submitted on 19 Apr 2021 (v1), last revised 8 Dec 2021 (v3)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Outils de réalité virtuelle pour l'histoire et l'archéologie

Recherche, diffusion, médiation : le cas des théâtres de la Foire Saint-Germain

Thèse de doctorat de l'École Centrale de Nantes,
Soutenue à Nantes le 15 Avril 2021
École doctorale n°602 - *Sciences pour l'Ingénieur*
Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes

par Paul **François**

Rapporteurs avant soutenance :

Estelle **Doudet**	Professeur des Universités, Université de Lausanne
Frédéric **Noël**	Professeur des Universités, Grenoble INP

Composition du jury :

Pauline **Beaucé**	MCF, Université de Bordeaux Montaigne
Emmanuel **Caillaud**	Professeur des Universités, Université de Strasbourg
Laurent **Lescop**	MCF HDR, École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes

Direction de la thèse :

Florent **Laroche**	MCF HDR, École Centrale de Nantes
Françoise **Rubellin**	Professeur des Universités, Université de Nantes

CENTRALE NANTES

Outils de réalité virtuelle pour l'histoire et l'archéologie

Recherche, diffusion, médiation : le cas des théâtres de la Foire Saint-Germain

par Paul **François**

À Marie-Laure, Jacqueline et Marie-Thérèse,
Trois femmes qui ont défini mon rapport au travail.

« À moi le dé, présentement ! » Ainsi s'exclame Polichinelle au début de *Polichinelle censeur des théâtres*[1], comme pour signifier son impatience à prendre la parole. Après trois années de travail, je dois avouer faire preuve de la même envie d'écrire les fondements, les propositions et les résultats de mes recherches. Cette impatience ne saurait cependant m'empêcher d'exprimer ma gratitude envers ceux qui ont rendu tout cela possible. Je souhaiterais remercier ceux qui par leurs actions, leurs paroles ou leur éducation ont fait de moi un chercheur.

Merci à Françoise Rubellin et à Florent Laroche pour leur encadrement littéralement extraordinaire pendant ces trois années. Leur motivation, leur disponibilité et leur passion communicative me rendent particulièrement fier d'avoir travaillé et appris à leurs côtés. J'espère que nos chemins académiques resteront liés dans l'avenir.

Merci aux membres du jury de cette thèse d'avoir accepté de donner du temps pour la relecture de ce travail : Estelle Doudet et Frédéric Noël, les rapporteurs, ainsi que Pauline Beaucé, Emmanuel Caillaud, Jeffrey Leichman et Laurent Lescop.

Merci à Jeffrey Leichman pour ses remarques pertinentes et son aide précieuse pendant ces trois ans, pour avoir organisé et rendu possible nos déplacements aux États-Unis et des confrontations déterminantes dans la poursuite du projet VESPACE.

Merci particulièrement à Pauline Beaucé et Jan Clarke qui ont excusé mon manque criant de culture littéraire et théâtrale et m'ont parlé d'égal à égal lors de nos passionnants échanges sur l'architecture des lieux de spectacles des XVII^e^ et XVIII^e^ siècles.

Merci à Raphaèle Fleury et Jean-Philippe Desrousseaux de m'avoir initié, chacun à leur manière, au monde des marionnettes.

Merci à Anne Baud, Anne Flammin, Bérangère Redon et Sylvain Dhennin d'avoir suffisamment cru en mon potentiel pour m'emmener en mission archéologique à l'étranger et réveiller en moi la passion de l'archéologie et par là même fournir des cas d'étude à cette thèse.

Merci à Benjamin Chavardés, dont l'encadrement de mon mémoire de licence fut un électrochoc révélateur, m'orientant vers la recherche académique.

Merci à Marie-Laure, ma mère, dont les heures passées à me parler de biologie, de médecine ou d'histoire depuis ma plus tendre enfance sont indubitablement la source de ma curiosité scientifique. Merci à Jean-Pierre, mon père, de m'avoir insufflé la rigueur scientifique, le goût du débat et la conviction que la valeur n'est pas liée à la taille de l'homme. Merci à eux d'avoir cru et investi dans mon éducation qui semblait parfois sans fin.

Merci à Nicolas, mon frère, de m'avoir sous-traité un jour de 2005 la réalisation des modèles tridimensionnels pour ses productions en école de design. Je suis resté attaché à l'infographie 3D depuis lors. Merci à Julien, mon frère, dont les commentaires francs aident efficacement à redescendre sur terre lors de la réalisation d'une thèse !

Merci à Lucie Bermejo, Marine Garin, Solène Sellier, Pauline Semitela, Julien Borrel, Quentin Desfarges, Stanislas Doin, Nelson Verkindere, compagnons d'architecture dont l'amitié sincère et indéfectible me guide depuis dix ans maintenant. Merci également à George Saadeh qui a adouci ma dernière année de thèse grâce aux délices culinaires du Liban.

Merci à Oussema Meski, collègue et ami, dont le rire communicatif a enchanté bon nombre de journées au laboratoire. Merci à Loïc Jeanson pour ses commentaires éclairants et sa relecture attentive. Merci enfin à Fanny Prou et Julien Le Goff, les doctorants de « l'autre côté », et à Isabelle Duval, tous trois membres du CETHEFI pour tous ces moments passés ensembles, qu'ils soient sérieux ou non !

1 Pièce pour les marionnettes de la Foire Saint-Germain, écrite par Carolet en 1737.

Sommaire

CHAPITRE I. Introduction 5

CHAPITRE II. Quels publics, quels besoins ? 13

CHAPITRE III. État de l'art théorique, expérimental et technologique 41

CHAPITRE IV. Une méthode : la rétro-architecture 101

CHAPITRE V. Application de la méthode : un théâtre de marionnettes à la Foire Saint-Germain 127

CHAPITRE VI. Un outil : PROUVÉ 239

CHAPITRE VII. Application et validation : le théâtre d'Audinot à la Foire Saint-Germain de 1772 289

Conclusion et perspectives 349

Bibliographie 357

Table des matières 381

Introduction

Chapitre I

Si l'histoire ou l'archéologie sont des disciplines qui s'intéressent au passé de l'humanité, elles font un appel grandissant à des technologies résolument tournées vers l'avenir. Ce que l'on nomme *Digital Humanities* ou Humanités Numériques désigne en effet en sciences humaines la pratique et la recherche en utilisant les nouvelles technologies de l'information. En histoire, nombre de projets de d'étude portant sur des archives ont ainsi recours à l'usage de base de données relationnelles, à la numérisation massive de documents ou à la création de graphes. En archéologie, le numérique est venu apporter de nouveaux outils permettant le positionnent et l'analyse de vestiges dans l'espace (comme les Systèmes d'Information Géographiques) ou la copie numérique des structures et objets découverts. Chaque jour, les outils numériques viennent considérablement raccourcir le temps nécessaire à la réalisation de certaines tâches autrefois laborieuses, ou repousser les limites des analyses qu'il est possible d'entreprendre à partir de données.

Historiens et archéologues, dans ce contexte, font un usage de plus en plus important des modélisations tridimensionnelles. Celles-ci permettent de figurer avec peu d'ambiguïtés, en utilisant un langage visuel commun à tous, l'état de la connaissance sur les objets et espaces du passé qui sont aujourd'hui disparus ou endommagés. Les outils numériques utilisés pour réaliser ces images ne sont pas nouveaux, ils sont principalement issus des disciplines de l'ingénierie (logiciel de modélisation mécanique), de l'architecture (logiciels de modélisation de l'espace) et de l'infographie (logiciels d'animation) et ont vu leur usage se généraliser dans les années 1990.

Parmi tous ces dispositifs numériques, ceux qui sont liés à la réalité virtuelle, c'est-à-dire ceux qui permettent à l'utilisateur d'être immergé dans un environnement entièrement généré par ordinateur, ne sont pas non plus nouveaux puisque nés à la fin du XX^e^ siècle. Cependant, leur coût prohibitif en a limité fortement l'usage jusqu'au développement de dispositifs grand public, destinés principalement au jeu vidéo, et disponibles au cours des années 2010. Les casques de réalité virtuelle, c'est leur nom, permettent aux utilisateurs de se sentir présents dans ces espaces pourtant entièrement virtuels. Ils autorisent alors les fantasmes les plus fous, parmi lesquels revivre des situations ou marcher dans des espaces du passé reconstruits grâce aux recherches en histoire et en archéologie.

Nous partons du simple constat que malgré leur intérêt, reconnu par les acteurs de la recherche, et leur relative facilité d'accès, les dispositifs de réalité virtuelle ne sont que très peu utilisés en histoire et en archéologie. Dans cette thèse, nous nous interrogerons sur les raisons de cette occasion manquée, et proposerons des pistes permettant de renforcer l'usage de la réalité virtuelle dans la recherche, la diffusion et la médiation en histoire et en archéologie.

Avant cela, nous devons présenter le contexte institutionnel de ces recherches, entreprises en co-direction avec Françoise Rubellin et Florent Laroche, issus de deux laboratoires différents (LAMo et le LS2N). Nous devons également expliciter les liens qui unissent cette thèse au projet VESPACE visant à faire revivre une soirée théâtrale au XVIII^e^ siècle dans les théâtres de la Foire Saint-Germain à Paris.

Contexte

Les laboratoires d'accueil

Cette thèse s'inscrit dans une forte volonté de tisser des liens entre le domaines des sciences humaines et le domaine des sciences dites « dures » et notamment des sciences du numérique. Plutôt que d'imaginer une de ces deux disciplines (l'histoire culturelle et les sciences du numérique) au service de l'autre, cette thèse entend profiter d'un bénéfice mutuel. Historiens et le littéraires apportent aux chercheurs de nouveaux cas d'études aptes à permettre le développement de nouveaux outils, tandis que les ingénieurs du numérique permettent aux historiens et littéraires de visualiser leurs problématiques avec de nouvelles méthodes, de nouveaux points de vue.

Afin de mener à bien une telle recherche conjointe, cette thèse est encadrée par deux laboratoires : le Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes (ci-après LS2N), un laboratoire de sciences du numérique, et le laboratoire Littératures Antiques et Modernes (ci-après LAMO), un laboratoire de littérature.

Le LS2N

Le Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes, UMR6004, a vu le jour en 2017 à la suite de la fusion des laboratoire IRCCyN (Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes) et LINA (Laboratoire d'Informatique de Nantes Atlantique). Co-dirigée par Florent Laroche, cette thèse s'inscrit dans les problématiques de recherche de l'équipe IS3P : Ingénierie des Systèmes, Produits, Performances, Perceptions. Les travaux de cette équipe se sont particulièrement orientés vers l'ingénierie des connaissances, avec plusieurs cas d'études apportés par des problématiques liées aux connaissances patrimoniales. Au sein de l'équipe, le programme ANR ReSeed vise à proposer des outils numériques permettant l'assistance aux travaux de recherche dans le patrimoine. Il peut s'agir d'études patrimoniales, de documentation, de travaux de valorisation ou de médiation par exemple. Nous pourrons donc profiter de cette expertise dans le domaine des humanités numériques.

Plus spécifiquement, nos travaux s'inscrivent dans la lignée de ceux réalisés lors des thèses de Florent Laroche[1], Benjamin Hervy[2], Matthieu Quantin[3] et de Loïc Jeanson[4], qui ont toutes les quatre été teintées d'une très forte dimension pluri-disciplinaire et patrimoniale.

Le LAMo

Le laboratoire Littératures Antiques et Modernes, EA4276, est un centre de recherche en littérature. Co-dirigée par Françoise Rubellin, cette thèse est fondamentalement liée à l'équipe de recherche du CETHEFI qu'elle a fondée. Le Centre d'Études des Théâtres de la Foire et de la Comédie-Italienne a été créé en 1999 et a pour ambition de créer des liens entre des chercheurs dispersés géographiquement mais traitant d'un sujet commun, celui des Théâtres de la Foire et de la Comédie-Italienne aux XVII[e] et XVIII[e] siècles. Ce centre d'étude développe aujourd'hui trois projets majeurs, particulièrement teintés d'humanités numériques, que sont Theaville[5]

1 Laroche 2007.
2 Hervy 2014.
3 Quantin 2018.
4 Jeanson 2020.
5 www.theaville.org .

(« Theatres et Vaudevilles », permettant de nouvelles approches et de nouvelles connexions entre les pièces de cette époque et les airs joués), Recital[6] (« Registres de la Comédie-Italienne », qui promet une meilleure compréhension du fonctionnement administratif et financier de la Comédie-Italienne), et VESPACE, principal sujet de cette thèse.

Outre les travaux de Françoise Rubellin, plusieurs thèses sont venues renforcer les connaissances sur différents aspects des théâtres forains parisiens du XVIII^e siècle sur lesquels nous seront amené à travailler : les thèses de Pauline Beaucé[7], d'Anastasia Sakhnovskaia-Pankeeva[8], de Loïc Chahine[9], de Fanny Prou[10] et celle de Julien Le Goff en préparation.

Le projet VESPACE

VESPACE, pour « *Virtual Early-Modern Spectacles and Publics, Active and Collaborative Environment* » est un projet international et interdisciplinaire visant à produire une expérience immersive multi-sensorielle dans les théâtres de la Foire Saint-Germain à Paris au XVIII^e siècle. Il s'agit de faire revivre une soirée théâtrale dans un des théâtres de cette Foire, depuis la représentation sur scène jusqu'aux interactions entre les spectateurs. Il est né en 2016 de la rencontre de Françoise Rubellin et de Jeffrey Leichman et s'est concrétisé par l'obtention d'une bourse de thèse en France, qui a permis la réalisation de ce manuscrit, d'une bourse du National Endownment for the Humanities aux États-Unis permettant de réaliser plusieurs réunions internationales et d'une subvention du CPER (Contrat Plant État Région) rendant possible des réunions et ateliers à la MSH Ange Guépin de Nantes.

En collaboration entre l'Université de Nantes (avec notamment les laboratoires LS2N et LAMo) et la Louisiana State University (dont le département de French Studies), VESPACE doit permettre d'exploiter l'immersion en réalité virtuelle pour tester des hypothèses sur la relation entre la performance théâtrale, l'espace de la salle et les interactions sociales au XVIII^e siècle, mais également pour re-concevoir la manière dont la recherche et l'enseignement de l'histoire culturelle, la représentation théâtrale et de l'étude de la langue peuvent être entrepris à l'ère des humanités numériques.

Pourquoi les théâtres forains plutôt que d'autres ? Aujourd'hui, si les spectacles que l'on donnait sur les scènes des théâtres des foires parisiennes sont mieux connus, ils restent victimes de préjugés : allant parfois jusqu'au mépris, pour certains, il s'agirait d'une forme de spectacle de rue, écrite par de mauvais auteurs et jouée par de mauvais acteurs. Les travaux de publication de pièces jouées à la Foire par le CETHEFI permettent une réinterprétation de ce genre littéraire et la découverte de sa diversité : on y a créé le genre opéra-comique et l'on y utilisait aussi bien la pantomime que les marionnettes. Le théâtre de la Foire est marqué par la diversité des genres qui y sont joués, mais également par la diversité du public qui assistait aux représentations. Toutes les classes sociales de l'époque pouvaient se retrouver spectatrices d'une représentation théâtrale, qui avait lieu non en pleine rue, mais dans des espaces conçus et décorés spécifiquement pour cet usage. Travailler sur ces théâtres, c'est donc mettre en valeur tout un pan de l'histoire culturelle française.

L'idée majeure derrière ce projet est de faire vivre cette expérience aux spectateurs contemporains via une immersion en réalité virtuelle, permettant ainsi de faire passer un message avec d'autant plus de force et de conviction. Le projet initial entend permettre une immersion complète d'un être humain dans une réalité virtuelle où il

6 www.recital.univ-nantes.fr .
7 Beaucé 2011.
8 Sakhnovskaia-Pankeeva 2013.
9 Chahine 2014.
10 Prou 2019a.

pourrait interagir avec des avatars (réels ou virtuels, c'est-à-dire contrôlés par d'autres humains ou par une intelligence artificielle) de manière naturelle via le langage mais aussi les gestes. Ces avatars, intégrant les mœurs de la société du XVIII^e^ siècle, pourraient influer grandement sur le déroulement de la soirée théâtrale : ils pourraient par exemple organiser la chute d'une pièce jugée inconvenante, à l'initiative de l'utilisateur, sans pour autant s'appuyer sur un scénario préétabli.

Lors de la première réunion à laquelle nous ayons assisté en novembre 2017, la deuxième du projet VESPACE, nous avons convenu d'une séparation des tâches entre l'Université de Louisiane et l'Université de Nantes. Les chercheurs outre-Atlantique, menés par Jeffrey Leichman et Ben Samuel, se chargeraient principalement du développement d'un concept nommé *social physics* consistant à faire agir les avatars du monde virtuel comme au XVIII^e^ siècle, sur la base de références comportementales trouvées dans la littérature de l'époque. En France, nous nous chargerions de l'expérience théâtrale en proposant une restitution d'un théâtre de la Foire Saint-Germain à visiter en réalité virtuelle.

Depuis cette date et pendant le déroulement de cette thèse, de nombreuses avancées ont été réalisées des deux côtés de l'Atlantique. Celles qui concernent la restitution de l'espace forain sont décrites dans ce manuscrit. Quant aux principes de *social physics*, ils ont fait l'objet du développement d'un nouveau moteur comportemental pour des intelligences artificielles de jeux vidéo, nommé *Ensemble* et du développement d'un ensemble de règles sociales tirées de la littérature du XVIII^e^ siècle.

C'est donc principalement dans le cadre de la restitution des théâtres de la Foire Saint-Germain à Paris au XVIII^e^ siècle que nous avons pu expérimenter l'usage de la réalité virtuelle dans la recherche, la diffusion et la médiation. Utiliser la réalité virtuelle pour étudier un domaine, le théâtre, qui a été le premier à utiliser cette expression nous semble donc particulièrement opportun. Quelle meilleure période, enfin, pour étudier une technologie qui replace le sensible au cœur de la recherche, que celle qui a vu naître la théorie du sensualisme, où toute connaissance ne serait faite que de sensations ?

Contribution scientifique

La contribution scientifique que nous entendons faire avec cette thèse est d'abord et avant tout de démontrer la pertinence de l'usage de la réalité virtuelle pour l'histoire et l'archéologie. Il s'agit de montrer les potentiels de ce nouvel outil numérique dans un milieu qui depuis longtemps fait usage de l'image pour représenter ses hypothèses et découvertes. Pour ce faire, notre contribution se divise en trois briques fortement liées : une méthode, un outil et un objet d'étude. La méthode que nous proposons se nomme rétro-architecture, l'outil se nomme PROUVÉ et l'objet d'étude est les théâtres de la Foire Saint-Germain à Paris au XVIII^e siècle. Afin de détailler cette triple contribution, le rapport de cette thèse se construit comme suit :

— Au Chapitre II, nous présentons les publics cibles d'une solution de visualisation et de travail en réalité virtuelle pour l'histoire et l'archéologie. Il s'agit également de montrer quels sont les besoins spécifiques de chacun de ces publics au regard d'expériences que nous avons réalisées précédemment ou parallèlement à cette thèse : elles couvrent l'archéologie et l'histoire à différentes périodes et dans différents contextes ;

— Au Chapitre III, nous faisons un tour d'horizon des avancées et concepts-clés dans les différents domaines dont traite cette thèse. Les outils et notions qui entourent le travail en histoire et en archéologie et plus précisément la restitution tridimensionnelle sont ainsi détaillés. De même, un état de l'art des technologies et des usages de la réalité virtuelle est dressé. Ensemble, ces deux approches permettent de comprendre les potentiels et les manques liés à un usage de la réalité virtuelle en sciences humaines. À l'issue de ce chapitre, nous proposons une problématique scientifique qui vient déterminer les travaux de recherche de cette thèse ;

— Au Chapitre IV, nous détaillons la méthode que nous proposons pour intégrer l'usage de la réalité virtuelle à un processus de restitution historique ou archéologique d'un espace disparu. Nous y formulons les hypothèses qui fondent notre proposition méthodologique. Cette méthode, nommée rétro-architecture, repose sur cinq étapes majeures : collecte de documents, contextualisation de ceux-ci, recoupement, modélisation et visite virtuelle ;

— Au Chapitre V, nous mettons en application cette méthode sur le cas des théâtres de la Foire Saint-Germain. Une phase de collecte d'archives permet ensuite un important travail de contextualisation qui occupe la majeure partie de ce chapitre. Elle permet de dresser le portrait architectural et urbain de la Foire Saint-Germain et des théâtres qui s'y produisirent au cours du XVIII^e siècle. Suite à cette première partie, nous analysons la représentation d'un théâtre de marionnettes peint par Louis Nicolas van Blarenberghe sur une miniature pour en faire une restitution tridimensionnelle, que l'on peut visiter en réalité virtuelle ;

— Au Chapitre VI, nous répondons aux manque d'outils numériques révélés par les deux chapitres précédents. L'application de la méthode de rétro-architecture nécessite en effet de pouvoir travailler en réalité virtuelle, et donc de visualiser les sources qui ont servi à la modélisation de l'environnement virtuel et d'annoter ce travail afin de garantir un processus itératif. L'outil doit également répondre aux différentes attentes mises en évidence au Chapitre II. Son nom, PROUVÉ (Extensions Unity et Omeka pour le Patrimoine en Réalité Virtuelle), fait référence à l'architecture même de cet outil, détaillée dans ce chapitre. Nous nous intéresserons également à l'interface de ce module et à l'expérience utilisateur ainsi créée. Des retours d'expérimentation auprès d'une partie du public cible sont également analysés dans ce chapitre ;

— Au Chapitre VII, nous appliquons la méthode et l'outil à un autre théâtre de la Foire Saint-Germain : un projet de théâtre pour l'entrepreneur Audinot en 1772. Ce nouveau cas d'étude nécessite une contextualisation importante des documents d'archives issus des Archives Nationales (un jeu de plans attribué à l'architecture Cellerier), avant même de présenter en détail le processus de restitution et l'usage de la réalité virtuelle dans ce cas ;
— Enfin, au Chapitre VIII, nous conclurons ce travail de recherche en vérifiant les hypothèses formulées au Chapitre IV puis en explicitant les limites de nos travaux et en proposant des pistes d'amélioration et des perspectives d'évolution.

Quels publics, quels besoins ?

Chapitre II

À la croisée entre histoire, archéologie, architecture, sciences numériques et médiation, les recherches présentées dans ce manuscrit ont nécessité en premier lieu de bien comprendre comment ces différents domaines et leurs acteurs pouvaient collaborer. Pour cela, différentes expériences réalisées juste avant et pendant toute la durée de cette thèse sont venues apporter un éclairage sur les besoins de chacun, les manières de travailler et les différents publics concernés par la réalité virtuelle pour la recherche. Il semble donc opportun de rendre compte de ces projets réalisés avec des archéologues, des historiens, des artisans, des acteurs publics ou privés. Sept projets ont été déterminants dans notre approche de la thématique de recherche ; dans leur présentation succincte dans ce chapitre nous tenterons de répondre aux questions suivantes : quels sont les différents types d'acteurs qui interviennent et quels sont leurs besoins ?

Parmi ces projets, deux sont des missions archéologiques à l'étranger qui ont visé à produire la restitution d'un espace disparu à partir du relevé des vestiges in situ : la Mission Archéologiques de Belvoir en Israël en 2017 et 2018, la Mission Archéologique de Taposiris Plinthine en Égypte en 2019. Nous y avons appris et expérimenté plusieurs techniques de relevé architectural, depuis le dessin manuel jusqu'au relevé photogrammétrique, mais nous avons également développé plusieurs méthodes de travail avec les archéologues sur le site et en dehors du site.

Deux autres de ces projets sont des missions d'archéologie industrielle, en lien avec un acteur public, la Mission des Forges du Pays de Nay, et un acteur privé, la Mission de la Cale de La Ciotat. Outre que ces deux projets ont permis de travailler avec des historiens, ils ont également permis de toucher aux attentes différentes, à la fois des historiens mais aussi des institutions publiques et privées.

Enfin, les trois derniers projets ont été réalisés à notre initiative et sont donc en rapport étroit avec les thématiques, notamment historiques, développées dans cette thèse. Par ordre chronologique, il s'agit d'une séance de travail « en réalité virtuelle » avec les couturières et couturiers de l'Opéra de Nantes, de la réalisation d'un dispositif immersif de groupe pour la Nuit Blanche des Chercheurs et enfin de l'expérimentation d'un cours basé sur une expérience en réalité virtuelle en classe de sixième.

Mission archéologique de Belvoir

La Mission Archéologique du château de Belvoir, en Israël, dirigée par Anne Baud[1], a pour objectif depuis 2013 l'étude du château croisé hospitalier du XII^e^ siècle qui domine la vallée du Jourdain au sud du lac de Tibériade. Les ruines du château font apparaître un réduit intérieur quadrangulaire, dont l'élévation du rez-de-chaussée est conservée, entourée par une enceinte extérieure pentagonale dont le glacis est également conservé jusqu'à l'arrase des murs. La mission cherche à comprendre la chronologie de l'installation et de la construction du château, l'environnement immédiat de celui-ci, et la forme complète qu'il prenait avant sa destruction.

Nous avons rejoint une équipe archéologique pluridisciplinaire, composée d'archéologues, d'historiens, de topographes, de tailleurs de pierre et d'architectes à deux reprises : en mai 2017 lors de la réalisation de notre stage de fin d'études à l'École Centrale de Lyon, et en mai 2018 pendant cette thèse.

Restitution de la chapelle castrale

La chapelle du château, vraisemblablement située à l'étage de celui-ci, a fait l'objet d'une destruction ou d'un démontage après la perte de la forteresse par les hospitaliers au XIII^e^ siècle. Les blocs qui la constituent, d'un calcaire fin qui permet de les différencier facilement du reste de la structure castrale, ont été rassemblés au nord du chantier de fouilles. Nous avions donc comme objectif de continuer le relevé systématique des blocs, déjà commencé par les missions précédentes, en vue de proposer une analyse de leurs assemblages et un remontage virtuel.

Ce relevé a été fait de manière manuelle, en dessinant des vues géométrales de ces éléments de construction au cinquième. Seuls les blocs possédant des caractéristiques particulières ont été relevés : ceux composant le parement droit des murs n'ont pas été dessinés. En 2018 nous avons complété cette campagne de dessin par le relevé des blocs ornés et sculptés conservés dans les réserves archéologiques.

Une fois le relevé effectué, nous avons entrepris la modélisation 3D simplifiée de l'ensemble de ces blocs pour tenter de comprendre la logique qui prévalait à leur assemblage éventuel. Nous avons ainsi pu modéliser en trois dimensions et éventuellement corriger les suppositions réalisées *in situ* par l'équipe, plusieurs assemblages : une armoire liturgique placée dans l'abside de la chapelle, les piles fasciculées, les sommiers de voûtes et le système de voûtement lui-même. Ensemble, ils permettent d'imaginer un espace qui ne correspond toutefois pas aux intérieurs des chapelles de l'Orient Latin à cette période. L'étude des plans et élévations de ces chapelles montre en effet que celles-ci présentent un intérieur sobre, voûté d'arêtes ou en plein cintre, alors que la restitution que nous pouvions imaginer était une structure à voûtes d'ogives dont les éléments clés, parmi lesquels les piles, sont particulièrement travaillés.

Outre une proposition de restitution s'appuyant sur ces exemples existants, nous avons également cherché à proposer un modèle qui puisse expliquer le recours à un type d'architecture différent. Il est en effet connu que la transition vers l'utilisation de voûtes d'ogive trahit le passage d'une structure massive à une structure que l'on pourrait appeler « à ossature », où les forces sont concentrées vers des éléments structurels particuliers : des voûtes aux ogives puis aux piles. Connaissant l'emplacement présumé de la chapelle à l'étage du château, nous avons entrepris de simuler l'impact

1 Laboratoire Archéologie et Archéométrie, UMR 5138.

Fig. 1. Hypothèse de restitution de la chapelle du château de Belvoir.

structurel de nos deux propositions de restitutions sur les structures conservées du rez-de-chaussée.

Cette modélisation, en utilisant notamment une simulation sur un logiciel d'analyse structurel utilisant la méthode des éléments finis (ANSYS), a montré l'impact considérablement réduit de la structure en ogives sur la voûte du rez-de-chaussée supportant la chapelle. Il semble donc que les architectes du XIIe siècle aient opté pour une architecture alors novatrice dans le but de réduire significativement les risques d'effondrement de la structure.

Afin de permettre aux archéologues de juger de l'espace restitué, nous avons testé plusieurs méthodes de visualisation. La première a consisté en la production d'un panorama à 360° qui permet, grâce à l'utilisation d'un smartphone, de pouvoir regarder dans toutes les directions autour de soi, en ayant cependant une perception des volumes relativement réduite. Nous avons ensuite utilisé un système *Google Cardboard*[2] couplé à un téléphone pour permettre aux archéologues une expérience immersive, bien qu'immobile, dans l'environnement restitué.

Enseignements

Immerger les archéologues au sein même de la restitution que nous menions conjointement a été particulièrement riche. Il était en effet beaucoup plus simple de discuter de la pertinence des choix effectués pour la réalisation de ce modèle en réalité virtuelle que sur des plans : la hauteur des éléments (qui n'est pas conservée), le détail des proportions et même l'ambiance du lieu peuvent être évoqués simplement sur la base d'une maquette commune. C'est cette immersion qui a notamment permis d'évoquer les différences notables avec les chapelles du Levant datant de la même période. En outre, l'immersion permettait de convoquer les souvenirs liés à la visite de nombreuses chapelles grâce à l'impression de volume pour les experts. Le dispositif utilisé, un *Google Cardboard*, rendait en outre le partage de nos conclusions avec les autres membres de la mission mais aussi du laboratoire particulièrement aisé.

Nous avons appris de cette première expérience comment la constitution d'un modèle tridimensionnel permettait non seulement de trouver des réponses à des questions posées sur le site, mais également de remettre en question ce que l'on croyait acquis pendant la phase de fouilles. La position très basse des bagues des chapiteaux de l'arc triomphal encadrant l'abside peut s'expliquer lorsque la restitution place ces éléments en trois dimensions : ces bagues s'alignent alors avec les bagues des chapiteaux des piles. Dans le même temps, la superposition des blocs, impossible en réalité en raison de leur instabilité, montre que les assemblages imaginés sur site ne fonctionnent pas.

Cette expérience a également montré combien l'utilisation d'un moyen, même rudimentaire, d'immersion en réalité virtuelle, permettait une discussion plus rapide et des échanges plus intéressants autour d'une maquette numérique. De plus, nous avons pu visualiser comment ce simple objet permettait de faire découvrir les résultats de nos recherche rapidement et efficacement au sein du laboratoire. Il nous était en revanche beaucoup plus difficile de rendre compte de cette troisième dimension dans le rapport d'activité de la mission, imprimé et donc limité à deux dimensions. Ces travaux ont fait l'objet de communications en interne dans la Maison de l'Orient et de la Méditerrannée à Lyon, et d'une communication à la journée d'étude « Le numérique : outil d'étude de la valeur patrimoniale ! » organisée par le projet ReSeed[3].

2 Ce dispositif de réalité virtuelle est détaillé au chapitre suivant.
3 François *et al.* 2018.

Mission archéologique de Plinthine

La Mission Française de Taposiris Magna et Plinthine[4] s'attache depuis 1998 à l'étude des sites de Taposiris et de Plinthine, qui formaient à l'époque antique la frontière occidentale de l'Égypte. Dirigée par Marie-Françoise Boussac puis par Bérangère Redon[5], la mission explore les deux sites en étudiant leur urbanisme dans les périodes les plus récentes (époque ptolémaïque notamment), depuis le port de Taposiris et la ville haute jusqu'à la ville de Plinthine. Depuis 2012, la mission explore également les parties les plus anciennes du site, remontant à l'époque pharaonique (des vestiges datant du règne de Ramsès II et portant son cartouche ont ainsi été découverts), qui se concentrent autour du kôm[6] de Plinthine.

Les deux sites, installés à 45 kilomètres à l'ouest d'Alexandrie, sur une bande de terre entre la mer Méditerranée et le lac Maréotis, permettent de comprendre le glissement de la frontière égyptienne vers l'ouest depuis la période pharaonique jusqu'à la domination gréco-romaine. À Plinthine, les traces montrent ainsi une occupation continue depuis le Nouvel Empire jusqu'à la période ptolémaïque, avec une activité concentrée sur la production de vin.

Nous avons rejoint la mission au printemps 2019 et devions y retourner en 2020 dans le cadre de cette thèse afin notamment de comprendre comment les outils que nous développions pouvaient être adaptés à l'archéologie.

Restitution du fouloir saïte

En 2016 a été découvert à l'est du kôm de Plinthine un fouloir à vin de l'époque saïte (VII^e^ - VI^e^ siècle av. J.-C.). Il s'agit d'une découverte dans la mesure où si les fouloirs sont bien représentées sur certaines tombes de l'époque pharaonique, le fouloir de Plinthine est le seul conservé en Égypte datant de la période pharaonique. Son relevé, sa numérisation par photogrammétrie et son analyse architecturale ont été entrepris par l'architecte de la mission, Matthieu Vanpeene. Notre mission a consisté à proposer une restitution de ce fouloir à partir des données acquises lors des missions précédentes, et grâce aux données sur son environnement immédiat acquises lors de la mission de 2019.

De manière générale, la mission qui nous a été confiée, et qui est toujours en cours, est celle de la réalisation d'un modèle 3D de l'ensemble du site archéologique de Plinthine, permettant de comprendre l'insertion de la ville antique dans un paysage particulier (entre la Méditerranée et le lac Maréotis, sur une levée de terre caractéristique), et l'insertion des outils de production vinicole dans l'environnement antique. Sur place, nous nous sommes donc chargé du relevé photogrammétrique des secteurs fouillés à mesure de l'avancement des fouilles et à la demande des archéologues. Nous nous occupions également du dessin de relevé des blocs et objets extraits dans un objectif de documentation. Enfin, nous pouvions saisir l'insertion du site dans son environnement, et ce à plusieurs échelles : le kôm dans sa région, la ville sur le kôm et le fouloir dans la ville.

Les travaux de modélisation ont principalement eu lieu à notre retour au LS2N et nous avons utilisé les moyens du laboratoire pour d'une part fusionner le relevé

4 https://taposiris.hypotheses.org/ .
5 Laboratoire HiSoMA (Histoire et Sources des Mondes Antiques), UMR 5189.
6 Un kôm est, en archéologie du Proche-Orient, un monticule de terre issu de la superposition des niveaux d'habitations au cours du temps.

Fig. 2. **Infographie montrant la restitution du fouloir Saïte de Plinthine (en haut), à partir du relevé photogrammétrique (en bas).**

photogrammétrique du fouloir entrepris en 2016 avec celui des environs entrepris en 2019, et d'autre part proposer une restitution de ce fouloir.

Les vestiges en place sont conservés jusqu'à une hauteur pouvant atteindre par endroit deux mètres dans le fouloir, ce qui facilite grandement la restitution tridimensionnelle. Le départ de la voûte nubienne qui couvrait cet espace est ainsi parfaitement visible, tandis que les deux éléments fonctionnels principaux du fouloir sont préservés : le bassin permettant de presser le raisin et la recette permettant de récupérer le jus de raisin. Néanmoins, plusieurs éléments permettant de restituer l'usage du lieu sont manquants mais bien décrits par les représentations égyptiennes. Par exemple, les ouvriers pressant le raisin devaient pouvoir se tenir à une poutre ou des cordes pour ne pas tomber, ce que montrent les fresques égyptiennes. De même, un ensemble d'outils devait permettre de remplir les amphores avec le jus de raisin. Pour cela, nous nous sommes rapproché des céramologues de la mission qui nous ont fourni les coupes d'amphores locales ou probablement utilisées à l'époque Saïte.

Une première étape de restitution, sans textures, a été testée par les archéologues en réalité virtuelle, en utilisant cette fois un casque HTC Vive, permettant le déplacement à la fois dans le modèle photogrammétrique, mais également dans la restitution proposée. Cette visite a fait apparaître des difficultés d'usage du lieu : comment apporter le raisin jusqu'au fouloir situé en hauteur ou comment éclairer cette pièce particulièrement sombre ? Nous avons donc cherché, en collaboration avec l'équipe, la solution qui permette de satisfaire ces contraintes d'usage en accord avec l'état de la connaissance et les relevés archéologiques.

Nous avons finalement produit une restitution du fouloir tel qu'il aurait pu être pendant sa période de fonctionnement au début du VI^e^ siècle av. J.-C. Nous y avons placé du mobilier (amphores, lampes, échelle), suggérant les usages de ce lieu. Une infographie a été produite (*Fig. 2*), permettant de présenter nos travaux dans le rapport de la mission, mais cette modélisation a également été l'objet d'une médiation sous la forme d'une maquette virtuelle accessible au grand public[7]. Pour cela, la maquette a été publiée sur le site *SketchFab*, permettant une visite guidée en suivant sept points d'information dans le modèle. Les utilisateurs possédant un casque de réalité virtuelle peuvent en outre visiter la restitution en immersion depuis ce site Internet.

Enseignements

L'immersion dans cette mission nous a permis de découvrir un autre aspect des fouilles archéologiques. Les fouilles de Belvoir s'apparentent majoritairement à de l'archéologie du bâti permettant l'étude d'ensembles conservés en élévation. Sur le site de Taposiris-Plinthine, les vestiges sont bel et bien enfouis dans le sol et ne sont souvent conservés qu'au niveau de leurs fondations. Il nous a donc été possible de comprendre le rapport différent de ce type d'archéologie avec la numérisation des vestiges en utilisant la photogrammétrie. Offrir aux chercheurs la possibilité de visiter à nouveau les vestiges par le biais des modèles obtenus par cette méthode de numérisation s'est avéré particulièrement positif, non seulement pour la compréhension du site, mais également pour la formulation d'hypothèses de restitution.

La réalisation d'une infographie et d'un modèle virtuel, visité sans les commentaires d'un archéologue, nous a poussé à chercher les éléments essentiels pour la médiation culturelle de ce site. Il nous était nécessaire d'identifier les composants majeurs de la restitution qu'il convenait d'expliquer au grand public afin que celui-ci puisse saisir le fonctionnement du fouloir, mais également en quoi les vestiges conservés sont exceptionnels.

7 https://taposiris.hypotheses.org/1272 .

Mission des forges de Nay

Les travaux d'analyse des Forges d'Arthez d'Asson, dans le pays de Nay aux pieds des Pyrénées, ont été confiés à Florent Laroche en 2017. Il ne s'agit pas d'une mission archéologique mais simplement d'une mission de relevé et de numérisation des vestiges en vue de proposer une restitution sommaire du site. Ce dernier consiste en les vestiges, bien conservés en élévation (certains murs dépassent les cinq mètres), de forges datant des XVII^e^ et XVIII^e^ siècles et ayant fonctionné jusqu'au XIX^e^ siècle. La commande pour cette numérisation a été passée par la Communauté de Communes du Pays de Nay, représentée par Virginie Rosato, dans le cadre d'un projet de valorisation du patrimoine local.

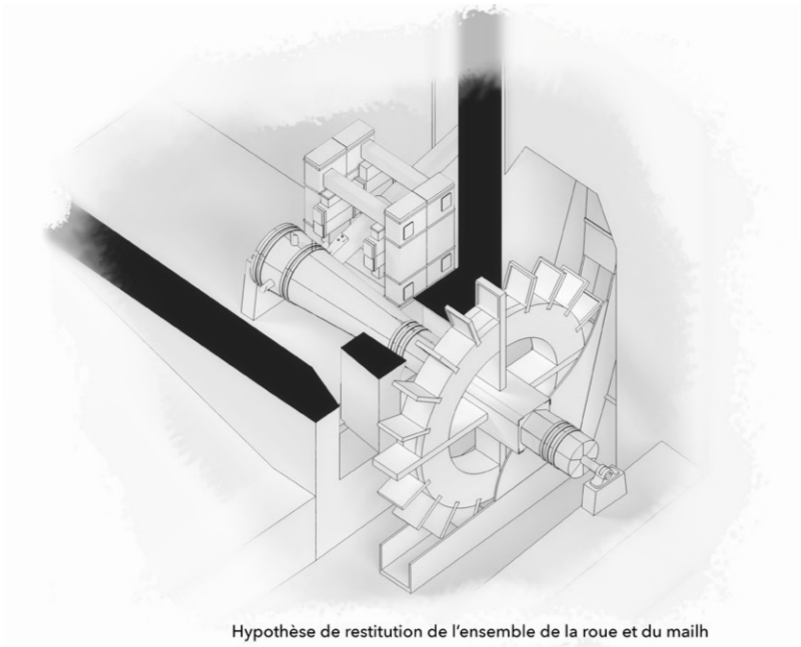
Les forges d'Arthez d'Asson font partie intégrante d'un système de plusieurs forges de la même époque, fonctionnant sur le principe dit des « forges à la catalane », consistant en l'injection d'oxygène dans le foyer de la forge par l'utilisation de l'effet Venturi provoqué par une chute d'eau. L'eau, chutant dans des tuyaux percés latéralement, aspire de l'oxygène qui est comprimé dans une réservoir au pied de la chute avant d'être injecté dans le foyer. L'état actuel des forges, prises par la végétation, ne permet pas d'envisager la médiation in situ, aussi la Communauté de Communes a-t-elle souhaité mettre en place la numérisation et une restitution afin de mettre en valeur ce patrimoine *ex-situ*.

Numérisation et restitution

Notre travail sur ce site a donc consisté à entreprendre une importante phase de numérisation. Celle-ci s'est déroulée en plusieurs étapes : en 2018, un groupe d'étudiants de l'École Centrale de Nantes, dans le cadre des projets de l'option INPACT[8], a réalisé un relevé lasergrammétrique de l'ensemble. Il nous a permis d'avoir une idée de l'échelle des vestiges et donc d'envisager de manière plus sereine la suite des opérations de numérisation et de restitution. En 2019, nous avons encadré un stagiaire, Rémy Maige, afin d'entreprendre une seconde campagne de numérisation, et d'analyse archéologique du bâti. Cette campagne a permis l'obtention d'un modèle photogrammétrique complet du cœur des forges, où le procédé de production du fer prenait place. Il a également permis une meilleure compréhension de l'insertion de la forge dans son contexte, le site étant particulièrement escarpé. En 2020 enfin, une troisième campagne de numérisation a permis la modélisation à grande échelle du site grâce à l'utilisation d'un drone. Il était ainsi possible de visualiser des éléments de grande dimension, impossibles à numériser manuellement, comme la retenue d'eau en amont des forges. Nous avons en outre pu compléter le relevé par la modélisation des bâtiment situés en dehors des forges elles-mêmes, qui permettent de mieux comprendre l'organisation du site, le parcours des produits finis, et les lieux de vie des ouvriers.

Ensemble, ces trois relevés rassemblent une importante documentation tridimensionnelle du site, à plusieurs échelles et en utilisant plusieurs techniques. Ils permettent en outre de visualiser l'évolution de la végétation et du sol au cours de ces trois années : le milieu local étant particulièrement humide et la végétation dense, la morphologie du site évolue très rapidement. À cette documentation volumétrique nous avons pu ajouter l'analyse des différents murs permettant d'identifier plusieurs

8 Option de formation à l'École Centrale de Nantes, dirigée par Florent Laroche et portant sur l'usage des outils numériques pour le patrimoine, l'art et la culture.



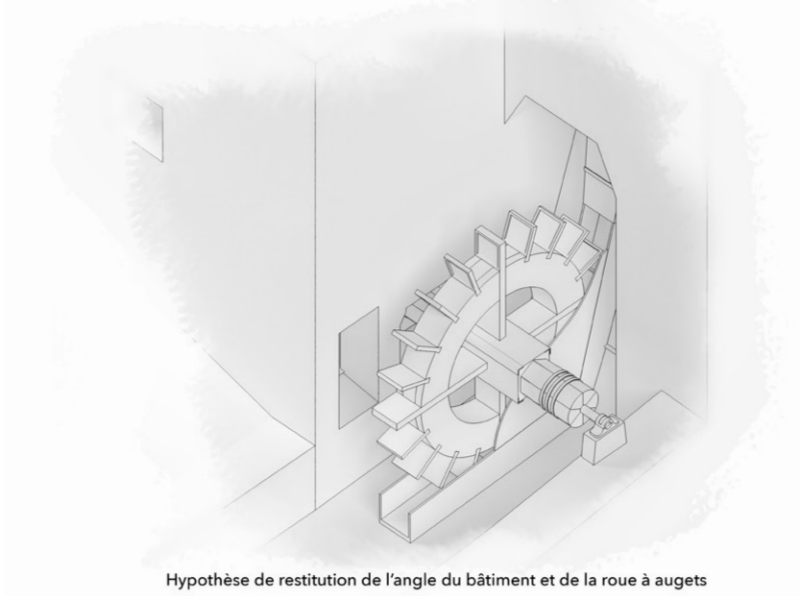


Fig. 3. Infographie montrant la restitution de la roue permettant l'activation du mailh de la forge à la catalane d'Arthez-d'Asson.

phases dans la construction et des désordres dans la structure ainsi que des premières hypothèses de restitution.

Ces hypothèses ont pu être formulées grâce à plusieurs sources bibliographiques, datant du XVIII[e] siècle, qui décrivent le fonctionnement générique des forges à la catalane (on retrouve notamment une planche à ce sujet dans l'*Encyclopédie* de Diderot), ou avec beaucoup plus de précisions comme dans les *Recherche sur le gisement et le traitement direct des Minerais de Fer dans les Pyrénées et particulièrement dans l'Ariège* de Jules François. Malgré cela, il n'existe aucun document décrivant, à notre connaissance, les forges d'Arthez d'Asson elles-mêmes et notre travail a donc consisté à retrouver dans les vestiges les éléments correspondants à ceux décrits dans d'autres forges à la catalane.

Il est rapidement apparu qu'en l'absence de véritables fouilles archéologiques, permettant notamment de retrouver les niveaux de sol d'origine ou l'emplacement des principales machines, la restitution que nous pouvions faire du fonctionnement de ces forges était particulièrement sommaire. Aussi nous sommes-nous attaché particulièrement à la restitution de la roue à aubes du *mailh* (nom donné au marteau principal de la forge, actionné par la roue), dont l'emplacement et le fonctionnement sont connus avec certitude. D'autres éléments, comme les trompes elles-mêmes, peuvent être positionnés avec précision en raison des traces laissées par leur emplacement dans la structure de pierre. Néanmoins, il nous est impossible de définir l'altitude qui recevait l'eau de ces trompes avec précision, ce qui rend toute tentative de restitution hasardeuse.

À partir de ces données lacunaires et du relevé photogrammétrique, nous avons donc entrepris la réalisation d'une infographie montrant une partie du système mécanique, aujourd'hui disparu, permettant aux forges de fonctionner. Afin d'échanger avec les différents acteurs de la Communauté de Communes et de l'association *Fer et Savoir Faire*, dépositaires de précieuses connaissances sur le fonctionnement de ces forges, pendant le confinement le modèle que nous avons créé a été mis à leur disposition sur la plateforme *SketchFab*. La phase suivante du projet implique la production de documentation de médiation à destination du grand public visitant la région sans pouvoir toutefois accéder aux vestiges eux-mêmes.

Enseignements

Ce projet montre à la fois les potentiels et la dépendance de la numérisation 3D vis à vis de recherches en histoire et en archéologie. La production de modèles numériques du site est indispensable pour permettre la compréhension d'un site présent sur un terrain aussi accidenté. Toutefois, sans données archéologiques ou historiques solides pour venir appuyer cette maquette, il n'est pas possible de transformer cette modélisation en une restitution scientifiquement renseignée.

Travailler avec une association historique et les pouvoirs publics locaux nous a néanmoins permis de toucher du doigt les attentes différentes des uns et des autres tant en terme de résultats scientifiques que de médiation auprès du public, et l'intérêt de l'usage d'une maquette tridimensionnelle pour pouvoir travailler ensemble autour d'un même objet d'étude.

Dans son état actuel, ce projet a fait l'objet de deux publications[9].

9 Laroche *et al.* 2020 et Rosato *et al.* 2020

Mission de numérisation de la cale de La Ciotat

En 2019, Jean-Louis Kerouanton[10] a été mandaté par la société privée La Ciotat Shipyards pour la documentation complète de la cale n°1, en complément des études déjà réalisées par le passé portant sur les grues des chantiers. En effet, les chantiers, dans le cadre d'une réorganisation majeure de leur outil de production et d'entretiens de yachts de grand luxe et de grande dimension, envisagent la destruction de la cale de lancement n°1 (*Fig. 4*). Ce type de cale, en pente vers la mer, correspond à un mode de construction qui n'est plus utilisé par les différents chantiers navals, et a fortiori par La Ciotat Shipyards qui se concentre dorénavant sur l'entretien des navires.

La mission consistait donc à réaliser une étude conjointe entre le Centre François Viète (Épistémologie et Histoire des Sciences) et le LS2N de cet outil de production, avec le concours de deux stagiaires : Maud Nimeskern (histoire des sciences) et Damien Voireiter (sciences du numérique). Nous avons apporté notre aide à cette équipe pour la numérisation et la gestion des données patrimoniales et l'encadrement de Damien Voireiter.

Numérisation, gestion des données et visualisation

La cale se compose d'un plan incliné de 250 m de long qui s'élève à une dizaine de mètre au-dessus du niveau de sol à une de ses extrémités, et à plusieurs mètres sous le niveau de la mer à l'autre. Elle est fermée par un bateau porte, maintenu en place par la pression de l'eau, qui permet de garder le fond de la cale au sec. Sur chacun de ses côtés, un chemin de roulement permet d'y déplacer deux imposantes grues, qui sont déplacées dans le cadre du chantier de construction, mais non détruites. Le chemin de roulement est une structure en béton formé d'alvéoles qui contiennent des ateliers et vestiaires permettant la construction du navire. De plus, un ensemble de souterrains passant sous la cale permet le contrôle et le déclenchement du système de lancement des navires : six verrins poussant des loquets libérant le navire vers la mer.

La diversité des espaces à numériser ainsi que leurs grandes dimensions nous ont obligé à recourir simultanément à plusieurs méthodes. Les espaces extérieurs comme la cale ont ainsi fait l'objet d'un relevé photogrammétrique au drone. Les parois verticales de la cale ont quant à elles été numérisées par un relevé photogrammétrique « à pied » permettant l'obtention d'un maximum de détails. Quant aux espaces intérieurs, les conditions d'éclairage (inexistant) ont poussé à l'usage du relevé laser qui ne nécessite pas, pour l'obtention de la position des poins, de source de lumière[11] (*Fig. 6*).

Une des difficultés de ce projet réside dans la nécessite de garder une grande précision de relevé malgré la taille importante de l'objet numérisé. La cale est ainsi recouverte de cercles de bronze, d'un diamètre d'environ dix centimètres, qui permettent le positionnement des éléments du bateau sur la cale. Il serait particulièrement intéressant de pouvoir visualiser avec précision ces éléments sur la numérisation ce qui implique le recours à une forte densité de points (*Fig. 5*). Le nuage de points ainsi produit à l'issue de cette campagne de numérisation contient environ 1,3 milliards de points, pour un fichier d'un poids de 60 giga-octets. La mission

10 Centre François Viète, EA1161.

11 Cela implique cependant la perte des informations de couleur des surfaces, qui n'étaient pas une priorité de ce relevé.

Fig. 4. Vue de la cale et du port de La Ciotat.

Fig. 5. Détail du nuage de points produit.

Fig. 6. Intérieur des souterrains de la cale.

confiée à Damien Voireiter sous notre supervision a donc été de pouvoir trouver un moyen d'affichage de ce type de nuages de points pour des utilisateurs n'ayant ni accès aux logiciels spécifiques que nous utilisons, ni une machine suffisamment puissante pour en permettre la visualisation.

La solution retenue est l'adaptation d'un programme créé pour le projet de recherche ANR ReSeed : il s'agit de la diffusion par internet des seuls points visibles dans le champ de vision de l'utilisateur. Cela nécessite donc la création d'un serveur permettant de n'envoyer au client (un navigateur web) que les points nécessaires à la visualisation en cours. Ainsi, même lorsque l'utilisateur visualise la cale en entier sur son navigateur, tous les points ne sont pas affichés, une décimation est réalisée pour que l'objet soit discernable en utilisant un nombre réduit de points[12]. Outre le modèle tridimensionnel, l'étude de la cale comporte également le rassemblement de nombreux documents (photographies, plans, descriptions) qui permettent aux historiens de renseigner la vie de l'objet patrimonial étudié. Nous avons alors proposé la solution Omeka, une architecture permettant la description de contenus patrimoniaux sur Internet, qui permette la création d'un ensemble cohérent d'archives à propos de la cale[13].

Enfin, une solution a été développée afin de permettre de lier le nuage de points aux données contenues dans la base de données patrimoniales. Des points d'informations positionnées sur le modèle 3D permettent l'affichage de données contenues dans la base Omeka en relation avec le modèle lui-même.

Enseignements

La phase de numérisation de la cale n°1 de La Ciotat a été réalisée juste avant le premier confinement en raison de la crise sanitaire du COVID-19. Alors qu'il ne nous était plus possible de retourner sur place pour compléter les relevés, le chantier de destruction a quant à lui bien continué, de telle sorte que certains aspects de la cale sont définitivement perdus. Ce projet nous a donc permis de comprendre les impératifs d'un travail dans l'urgence, pour pouvoir obtenir le maximum de données en un temps réduit. Il nous a surtout renseigné sur les méthodes de travail des historiens des sciences et des techniques, qui diffèrent sensiblement de celles des archéologues et qui s'attachent à des supports différents.

Outre le besoin évident de produire un modèle qui puisse sauvegarder, en quelque sorte, le patrimoine disparu, un des enjeux de notre intervention commune était de convaincre les dirigeants de La Ciotat Shipyards de l'intérêt de notre démarche tant du point de vue de la conservation des savoirs et savoir-faire que de la production d'une maquette qui puisse leur être utile en phase chantier. De ce point de vue, la coopération que nous avons mise en place a semble-t-il été payante puisque nous avons proposé une solution qui a su convaincre l'ensemble des acteurs concernés par ce projet.

12 https://la-ciotat.univ-nantes.fr/reseed/
13 https://la-ciotat.univ-nantes.fr/omeka/

Séance de travail en réalité virtuelle à l'Opéra de Nantes

Dans le cadre du projet VESPACE, nous avons très tôt cherché à donner de l'échelle et de la vie aux restitutions produites en les peuplant d'avatars. Pour cela, nous avons encadré en 2018 deux stagiaires issus du Laval Virtual Center, l'école de réalité virtuelle de Laval. Charlotte Dubosc et Killian Poinsot ont donc été chargés de proposer deux approches différentes de la réalisation d'avatars historiquement renseignés représentant des femmes et hommes du XVIII^e siècle. Charlotte fut chargée de la création d'un avatar de femme suffisamment précis pour pouvoir être visualisé de près et éventuellement permettre l'interaction en réalité virtuelle. Killian, quant à lui, fut chargé de trouver un moyen de produire des foules qui puissent correspondre aux standards de ce siècle.

Lorsque Charlotte Dubosc a commencé à modéliser le costume du personnage féminin, de nombreuses questions sur la morphologie de celui-ci sont apparues. Afin d'y répondre, Françoise Rubellin a proposé d'organiser une séance de travail avec les dépositaires du savoir-faire concernant les costumes d'époque : les couturières et couturiers d'Angers-Nantes Opéra, dont l'atelier costumes, habillages, perruques, maquillage, était dirigé alors par Patricial Nail.

Visualisation en réalité virtuelle

Afin de permettre aux artisans de l'Opéra de Nantes de visualiser le modèle de robe réalisé par Charlotte (*Fig. 8*), nous avons placé ce modèle dans un environnement visitable en réalité virtuelle et avons apporté le matériel nécessaire à une immersion dans l'atelier de costumes. Une fois les capteurs installés pour permettre le fonctionnement du casque HTC Vive que nous utilisons, les différents artisans ont pu s'immerger dans cet environnement et visualiser, à l'échelle et en pouvant tourner autour, le modèle modélisé par Charlotte (*Fig. 9*).

L'intérêt de cette démarche est qu'elle reproduit, au casque près, la situation classique de l'essayage d'un costume par un comédien : couturiers, coiffeurs et maquilleurs peuvent visualiser l'acteur et faire des retours pour améliorer le costume de scène. Ici, l'acteur en question n'est visible que par le biais du casque de réalité virtuelle, et ainsi les commentaires des différents experts ont pu améliorer grandement le modèle de costume proposé. Patricia Nail a ainsi indiqué de nombreux ouvrages de référence comprenant des patrons de robes à panier du XVIII^e siècle, le même type de robe que porte l'avatar. Elle a également fait remarquer que le corps représenté ne correspond pas aux modifications corporelles imposées par le port du corset. Puisque la réalité virtuelle ne peut pas remplacer l'expérience physique, elle a fait porter à Charlotte un corset, lui permettant de se rendre compte du changement de silhouette que procure cet élément typique des tenues de ce siècle.

Plusieurs modifications ont également concerné le port général de l'avatar, qui est influencé par le port du corset, mais aussi la coiffure et le maquillage. La visualisation permettait ainsi au perruquier-coiffeur, Jérôme Joyeux, de s'approcher au plus près des mèches suggérées par la modélisation de l'avatar et de proposer des ajustements qui ont été pris en compte par Charlotte pour la suite de cette réalisation. En revanche, malgré la qualité indéniable des propositions de ces deux stagiaires, nous n'avons pas pris en charge l'intégration de ces avatars durant notre thèse. Les enjeux de l'intégration de tels humains virtuels dans le projet VESPACE dépassent en effet largement le contexte de cette étude.

Fig. 7. Travail en commun dans l'atelier des couturiers de l'Opéra de Nantes. De gauche à droite : Killian Poinsot, Françoise Rubellin, Patricia Nail et Charlotte Dubosc.

Fig. 8. L'avatar conçu par Charlotte Dubosc.

Fig. 9. Patricia Nail visualisant l'avatar virtuel.

Enseignements

Ainsi, la journée du 20 juin 2018, véritable journée d'études theorico-pratique, rassemblait autour d'un personnage virtuel était profondément interdisciplinaire puisqu'elle rassemblait couturières, couturiers, coiffeurs, spécialistes de la réalité virtuelle et expert en littérature du XVIII^e siècle. Elle nous a montré le pouvoir de l'immersion, permettant à de nombreux acteurs ne parlant pas le même langage technique d'échanger autour d'un même objet. La solution technique retenue, très simple, autorisait à déplacer le dispositif de réalité virtuelle sur le lieu de travail même des artisans, leur permettant d'accéder à des ressources ou des outils familiers (livres ou tissus, dans notre cas).

Cette expérience nous a en outre montré que la réalité virtuelle est également un médium permettant la mise en valeur d'artisanats peu connus. Précédemment, nous aurions eu tendance à dire que le monde virtuel pouvait être une menace pour ce type d'artisanat en le rendant moins utile : il n'en est rien, le savoir faire de ces artisans reste indispensable à la modélisation des objets virtuels.

Dispositif immersif de groupe

À la fin de l'année 2019, nous avons été contacté par le service de médiation de l'Université de Nantes afin de proposer un atelier pour l'édition 2020 de la *Nuit Blanche des Chercheurs*[14]. Cet événement regroupe chaque année, le temps d'une soirée, plusieurs chercheurs pour proposer au grand public des ateliers ou des conférences autour de leurs thématiques de recherche en lien avec un thème. En 2020, le thème fixé était « la preuve par l'image », et nous avions carte blanche pour offrir aux visiteurs de cette soirée une expérience qui puisse rendre compte de l'adéquation de notre thématique de recherche (en l'occurrence la restitution immersive d'espaces disparus) avec « la preuve par l'image ».

Précédemment, nous avions proposé des ateliers à la Fête de la Science pour ses éditions 2018 (à Nantes) et 2019 (à Lyon, pour les 80 ans du CNRS), sous la forme d'une immersion en réalité virtuelle en utilisant un casque. Si ces ateliers permettaient un moment d'échange individuel avec tous les visiteurs, ils généraient de longs temps d'attente et étaient en outre pour les médiateurs, dont nous faisions partie, particulièrement difficiles. Nous avons donc proposé un dispositif complètement nouveau pour l'édition 2020 de la *Nuit Blanche des Chercheurs*.

Un spectacle comme au XVIII^{e} siècle

L'espace sur lequel nous travaillions au moment de la proposition du service de médiation était celui du théâtre de marionnettes de 1762 que nous avons restitué (voir à ce sujet le Chapitre V). Les dimensions de celui-ci étant réduites et sa forme très simple (5 m de large, 7 m de profondeur sous un plafond de 3,5 m), il nous était possible d'envisager de le reproduire à échelle réelle. Cependant, pour coller au thème, il était important de montrer comment la restitution que nous avons obtenue avait été conçue, avec quelles sources (et quelles images) et avec quelles hypothèses. Enfin, il semblait indispensable de donner du sens à l'espace, et donc d'offrir aux spectateurs de cette soirée un véritable spectacle de marionnettes.

Le dispositif que nous avons imaginé consiste en trois écrans de grande dimension qui forment les trois murs encadrant l'espace à l'échelle du théâtre de marionnettes (*Fig. 10*). Sur ces trois écrans, nous pouvons ensuite projeter les images que nous souhaitons, c'est-à-dire dans un premier temps celles montrant le processus de restitution, et dans un deuxième temps, le spectacle de marionnettes. La tâche à réaliser était donc particulièrement importante puisqu'il était nécessaire de concevoir à la fois le dispositif physique[15] avec les écrans, les vidéo-projecteurs et l'ordinateur contrôlant l'ensemble, mais également la séquence d'image projetée.

Le dispositif de visualisation a été monté par deux étudiants de Laurent Lescop, professeur d'architecture à l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes : Théo Renois et Corentin Cottereau. Ils ont donc mis en place des éléments de décors maintenant au gril du plafond d'une des salles de la Halle 6 où se tenait la *Nuit Blanche des Chercheurs*, recouvert l'ensemble d'un tissu permettant la projection, et mis en place trois vidéo-projecteurs permettant la diffusion des images sur les trois faces (*Fig. 11*). Au centre des trois murs, plusieurs rangs de chaises autorisaient les spectateurs à se placer comme sur les bancs du théâtre de marionnettes.

Concernant les images diffusées, nous avons mis au point un storyboard qui s'attache à présenter le projet en deux parties : la première est celle de la restitution du théâtre (*Fig. 12*), la seconde est celle du spectacle. Pour la première partie,

14 https://nbc.univ-nantes.fr

15 Nous avons en effet conçu en réalité un dispositif de type SID, comme les CAVEs (voir chapitre suivant).

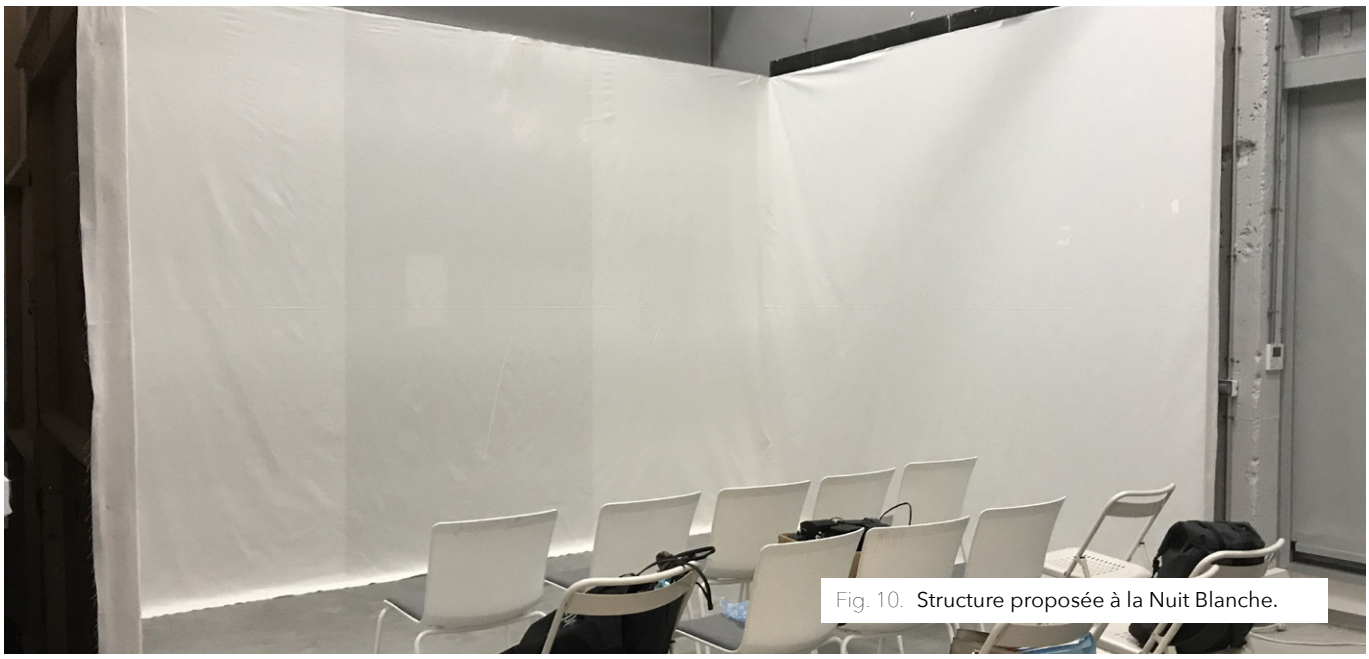


Fig. 10. Structure proposée à la Nuit Blanche.

Fig. 11. Montage de la structure.

Fig. 12. L'espace virtuel se construit autour des visiteurs.

Fig. 13. Vue montrant la structure et les principaux objets constituant l'espace du théâtre de marionnettes. Les textures ne sont pas représentées.

nous avons imaginé que la salle se reconstruit autour du spectateur en plusieurs étapes : la structure en bois d'abord, puis le remplissage des murs, la scène, la structure permettant de jouer des marionnettes puis les peintures murales et les décors. Cette séquence est accompagnée de la projection sur les faces latérales de sources d'époque permettant de comprendre comment le travail a été entrepris pour restituer cet espace. Une fois cette séquence terminée, le spectateur se retrouve dans le noir et un intervenant annonce la représentation théâtrale. Celle-ci est un extrait de *Polichinelle Censeur des Théâtres*, une pièce pour marionnettes écrit en 1737 par Carolet dont le manuscrit a été édité en ligne par Françoise Rubellin[16]. Nous avons filmé indépendamment chacune des marionnettes qui le composent, manipulées par Jean-Philippe Desrousseaux devant un fond vert. Celui-ci a permis d'incruster ces personnages dans le décor restitué du théâtre du XVIII^e siècle (voir Chapitre V), et de pouvoir reproduire cette pièce virtuellement dans un espace d'époque, alors même qu'elle est d'habitude jouée par plusieurs marionnettistes.

L'ensemble de l'animation durait moins de dix minutes pendant lesquelles quinze spectateurs pouvaient assister à une représentation. Nous avons pu tenir 20 représentations de suite entre 18H et 20H. L'intérêt de ce dispositif est que chacun des spectateurs contemporains joue un rôle dans l'immersion des autres spectateurs en recréant par sa présence l'ambiance caractéristique des salles de spectacle. De même, l'impression d'immersion dans l'espace virtuel est très forte, le spectateur immobile voyant se construire autour de lui la restitution (*Fig. 12*).

Enseignements

Outre que cette réalisation a permis au projet de faire de grandes avancées, notamment en numérisant un spectacle de marionnettes pour le mettre sur la scène d'un théâtre qui restait précédemment vide, elle a également été très riche en enseignements. Nous avons ainsi mis en évidence que les casques de réalité virtuelle ne sont pas les seuls dispositifs efficaces pour permettre une immersion. Dans notre cas, la correspondance entre les dimensions de l'espace virtuel et celles de l'espace réel sur lequel sont effectuées les projections limite le recours à des coûteux dispositifs de suivi de mouvement. Nous pouvions donc permettre une immersion en groupe, une sensation qu'il est impossible d'obtenir avec un casque de réalité virtuelle, celui-ci isolant chacun des utilisateurs.

La crise sanitaire qui a frappé le monde quelques semaines après cette expérimentation a également révélé les potentiels de ce type de dispositif. Il est en effet de plus en plus difficile d'imaginer placer le même casque sur des dizaines d'utilisateurs lors d'un événement, pour des raisons évidents d'hygiène. Le dispositif que nous avons conçu, même s'il oblige les utilisateurs à se rapprocher, reste un dispositif sans contact.

Enfin, nous avons beaucoup appris lors de cette expérience à propos des attentes des spectateurs et des différents moyens que nous avions pour faire passer un message efficacement auprès du grand public. Malgré un dispositif innovant et ludique, nous n'avons pas travesti le message scientifique et avons pu le transmettre avec force.

16 http://cethefi.org/doc/polichinelle_censeur_des_theatres.pdf .

Un cours en réalité virtuelle

Pouvoir utiliser les outils développés pour le projet VESPACE afin de permettre l'enseignement au collège ou au lycée en France a été dès le début un des objectifs du projet. L'occasion de réaliser ce type d'expérience s'est présentée en 2020 lorsque Fanny Prou, docteur en littérature et professeur de français au collège, nous a proposé d'intervenir dans le cadre d'une journée spéciale qu'elle organisait dans son collège, à Évron dans la Mayenne. Le collège en question, le Sacré-Cœur, est un établissement privé sous contrat.

L'enjeu était de proposer à l'ensemble des 120 élèves en classe de sixième d'expérimenter la réalité virtuelle dans le cadre d'une séquence du programme de français de sixième portant sur le théâtre. Puisqu'il était impossible de proposer aux trente élèves de chaque classe de rentrer simultanément en réalité virtuelle avec un casque, nous avons dû imaginer, en concertation avec Fanny Prou, un moyen de lier activités pédagogiques en réalité virtuelle et activités pédagogiques en réalité.

Un continuum pédagogique de la réalité à la réalité virtuelle

Le 14 février 2020, nous avons ainsi investi la salle d'étude du collège pour y installer deux espaces distincts : le premier étant dédié à l'expérimentation en réalité virtuelle, le second aux activités pédagogiques plus traditionnelles. Un grand espace carré de 4 m de côté a été dégagé pour permettre l'installation des capteurs et de l'ordinateur nécessaires au casque de réalité virtuelle HTC Vive que nous utilisons.

La partie immersion de l'expérience proposée aux collégiens consistait en une visite de l'intérieur d'un théâtre de marionnettes à la Foire Saint-Germain vers 1760. En binômes, les enfants pouvaient se déplacer librement à l'intérieur de cet espace, tout en restant guidés et surveillés. Pendant qu'un premier enfant découvrait une partie de la salle, l'autre pouvait visualiser ce qu'il voyait sur l'écran de l'ordinateur. Au bout d'environ une minute et trente secondes, les rôles s'inversaient et la visite se poursuivait dans la salle et les coulisses. Ce fonctionnement en binôme permettait aux élèves de partager leurs impressions en petits groupes, et évitait à ceux expérimentant la réalité virtuelle de se sentir jugé par le reste de la classe. En visualisant ce que l'autre perçoit dans le casque, l'élève qui est face à l'écran de l'ordinateur reçoit toutes les informations importantes concernant l'espace visité.

Nous avions défini avec Fanny Prou plusieurs messages importants qu'il convenait de faire passer pendant cette immersion, au regard de l'intérêt pédagogique de cet outil. Les élèves devaient ainsi percevoir les difficultés liées à l'éclairage d'une salle à la bougie, influençant ce qui est visible sur scène mais aussi ce qui est visible dans la salle. Ils devaient également pouvoir tester plusieurs points de vue sur la scène, depuis les premiers rangs jusqu'aux derniers, pour découvrir le placement lié à la hiérarchie sociale dans une salle à cette époque. Enfin, en passant derrière la scène, les élèves devaient comprendre comment un marionnettiste pouvait contrôler les marionnettes et ce que l'on voit de la salle depuis les coulisses.

Puisque l'expérience de découverte en réalité virtuelle ne pouvait concerner que deux élèves à la fois, Fanny Prou a mis en place un ensemble d'ateliers permettant de prolonger l'expérience, ou de la précéder. Il s'agissait d'une présentation orale de la diversité des spectacles forains au XVIII^e^ siècle, permettant aux collégiens d'appréhender la diversité de ce que l'on nomme « théâtre », d'un extrait vidéo de représentation d'une pièce pour marionnettes, d'un exercice de transcription d'une écriture du XVIII^e^ siècle et de la familiarisation avec des éditions originales de pièces de la même

Fig. 14. Immersion d'un élève en réalité virtuelle pendant que le reste de la classe poursuit les activités, au fond.

Fig. 15. Élève portant le casque.

Fig. 16. Activités liées à l'immersion en classe.

époque. Il s'agissait donc d'aborder à la fois le travail des chercheurs permettant de retrouver ces pièces et la diversité des spectacles qui étaient donnés et leur comique.

De nombreux enfants ont vécu lors de cette journée leur première expérience en réalité virtuelle et il était important pour nous de replacer cela dans un cadre pédagogique défini. Nous avons en effet pu montrer comment cet outil numérique pouvait être utilisé à des fins pédagogiques non en remplacement, mais en complément des méthodes plus traditionnelles afin de susciter un engagement plus important des élèves.

Enseignements

Cette expérience nous a permis de comprendre comment la réalité virtuelle pouvait s'intégrer dans le cadre d'une séance de cours au collège. En effet, actuellement, il n'est pas envisageable d'obtenir un casque de réalité virtuelle par élève, et il convient donc d'aménager des enseignements autour de ce problème technique. Nous avons été surpris par la facilité avec laquelle ces activités ont pu se dérouler, passée l'excitation des premières minutes à voir ses camarades gesticuler en réalité virtuelle.

Puisque nous étions chargé d'encadrer chacun des 120 élèves dans son immersion, nous avons pu identifier quelles sont les informations qui sont les plus pertinentes et percutantes pour ces enfants. De même, les difficultés inhérentes à la réalité virtuelle qui sont apparues pour ces enfants ont pu être cernées : la compréhension de la notion de réalité virtuelle nécessite en effet la compréhension du concept de réalité, ce qui n'est, pour des élèves de sixième, pas toujours le cas. Alors même que nous pensions que les jeunes générations, que l'on dit très à l'aise avec l'outil numérique, n'auraient eu aucun crainte à tester ce dispositif, certains se sont au contraire montrés particulièrement anxieux à cette idée et nous avons donc dû faire preuve de patience et de pédagogie pour montrer que la situation ne présentait aucun risque.

Cette expérience a fait l'objet d'un article dans l'édition locale du journal Ouest-France[17] et dans le journal de l'école.

17 « Evron. La réalité virtuelle s'invite au collège du Sacré-Cœur », *Ouest-France* du 19 février 2020. https://www.ouest-france.fr/pays-de-la-loire/evron-53600/evron-la-realite-virtuelle-s-invite-au-college-du-sacre-coeur-6743111

Besoins et publics identifiés

Ces différentes expériences nous ont dans un premier temps permis d'identifier trois grands types de publics auxquels un système de réalité virtuelle pour l'histoire ou l'archéologie pourrait être dédié. Parmi les chercheurs, nous pouvons définir deux publics différents : d'une part celles et ceux qui participent activement à un projet de recherche (experts et parties prenantes), d'autre part la communauté scientifique au sens large avec qui l'on peut souhaiter partager les résultats de recherche. On conçoit facilement que si ces deux publics partagent les mêmes codes et un grand nombre de connaissances, ceux qui participent à la production de la recherche elle-même ont des attentes différentes de ceux qui en sont les destinataires. Nous nommerons donc respectivement ces deux publics « production » et « diffusion », le second faisant référence à l'acte de diffusion scientifique, à savoir le partage de connaissances ou de théories au sein de la communauté scientifique. Dans toutes les expériences précédentes, nous avons côtoyé de près le public de production (qu'il s'agisse d'historiens, d'architectes, d'archéologues, etc.) mais avons également pu toucher du doigt les problèmes de la diffusion (lors du partage de nos découvertes avec les membres des laboratoires, par exemple).

Le troisième public identifié est ce que l'on pourrait nommer le grand public, qui ne possède a priori qu'un socle commun de connaissances dans les domaines spécifiques de l'histoire et de l'archéologie. Un travail de vulgarisation doit donc être entrepris afin de rendre accessibles les concepts développés par l'équipe de recherche. Nous avons eu une bonne idée de ce type de travail lors de nos réalisations pour la Nuit Blanche des Chercheurs ou lors du cours en réalité virtuelle au collège.

Le contact avec ces différents publics nous a également permis de nous imprégner des attentes et besoins de chacun au regard de l'utilisation d'un dispositif de réalité virtuelle pour l'histoire et l'archéologie. La première de ces attentes est, au regard de nos expériences, la possibilité de consulter les sources et de comprendre comment l'environnement virtuel a été conçu. Il s'agit pour de nombreux chercheurs d'éviter l'écueil consistant à imprimer une image, de manière souvent indélébile, dans l'esprit de la communauté scientifique ou du grand public qui ne soit qu'une hypothèse. Pour cela, l'accès à la documentation et aux sources permettrait d'éveiller le doute et de faire comprendre ce qui relève de faits avérés de ce qui est du ressort de la création.

Pour le public production, les besoins d'un tel dispositif semblent dans nos expériences se regrouper autour de la capacité à faire des découvertes ou produire des hypothèses en adoptant un nouveau point de vue ou regard sur un objet. Le commentaire et l'annotation de l'environnement sont alors de bons moyens de conserver ces nouvelles pistes de recherche. L'usage de la réalité virtuelle dans les projets précédemment cités a toujours été un moment où des associations d'idées nouvelles ont été réalisées, où des commentaires inédits ont été formulés et où de nouvelles pistes de recherche ont été esquissées. La réalité virtuelle permettrait également de produire des données nativement numériques, c'est-à-dire issues directement d'un processus numérique, permettant d'analyser, par exemple, les pratiques des chercheurs et experts dans l'espace virtuel.

À destination des publics de diffusion et de médiation, les besoins que nous avons identifié sont ceux permettant de donner à une immersion en réalité virtuelle tout le crédit et l'intérêt scientifique que l'on peut habituellement retrouver dans une publication scientifique. Il s'agit donc de pouvoir être un support efficace d'une théorie scientifique ou d'une démonstration (de la pertinence d'une hypothèse de restitution archéologique, par exemple) et de guider le visiteur dans un environnement pour le convaincre. Enfin, à destination du grand public, il nous semble

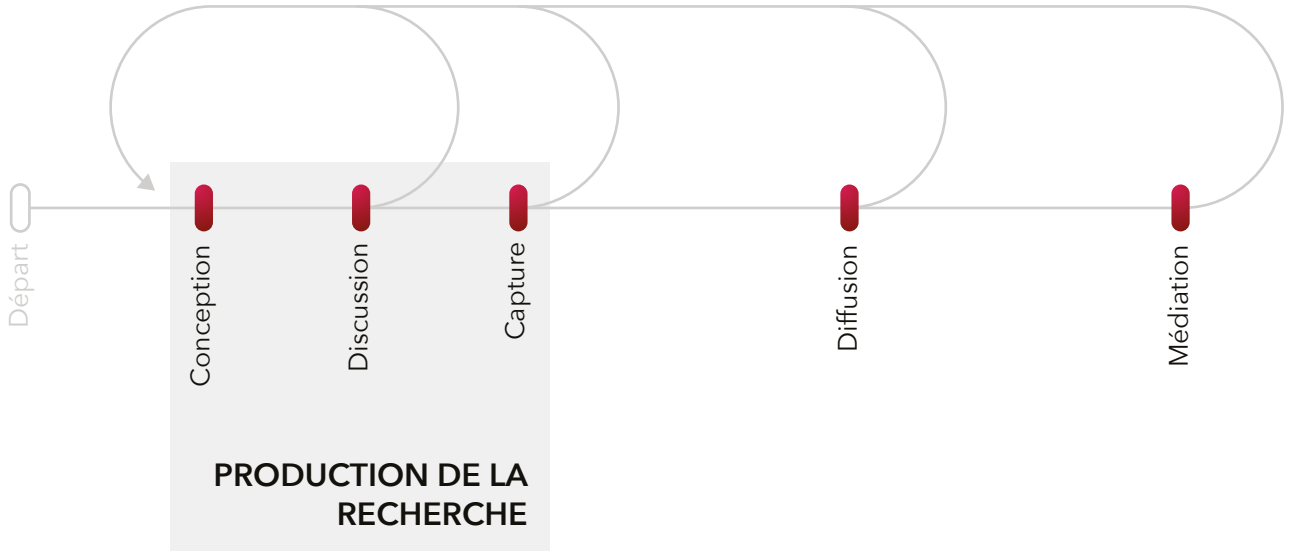


Fig. 17. Schéma représentant notre interprétation du cycle de la recherche, de la recherche en laboratoire jusqu'à la médiation.

important de créer un environnement ludique, permettant un engagement, notamment des plus jeunes.

Cette immersion dans le travail des archéologues et des historiens est aussi pour nous l'occasion de nous imprégner des méthodes et des étapes du travail. En plus d'identifier les publics et les besoins de chacun pour la recherche en utilisant les technologies 3D, nous avons pu également comprendre comment les différentes étapes de travail se succèdent dans un projet de restitution patrimoniale. Ces différentes étapes font partie de ce que nous nommons « cycle de la recherche », se voulant suffisamment générique pour être utilisé dans tout projet ayant recours à de la réalité virtuelle pour tester des hypothèses. Chacune des étapes de ce cycle permet une transition vers la suivante tout en produisant des informations utiles à la première phase dite « production de la recherche ». Cette première phase est composée de trois actions : la conception d'un modèle 3D, sa discussion, c'est-à-dire sa critique par des experts, et la capture d'informations permettant de le compléter (par exemple, les retours d'experts immergés dans le modèle). La phase suivante est celle de la diffusion des connaissances ainsi produites à l'ensemble de la communauté scientifique. Cette dernière produit des retours qui peuvent être inclus dans une nouvelle itération du cycle. Enfin, vient la phase de médiation auprès du grand public. Cette vision volontairement simpliste du processus de recherche-diffusion-médiation (*Fig. 17*) permet cependant de comprendre plusieurs chapitres qui vont suivre.

Ces observations préliminaires sont le fruit d'une imprégnation progressive dans le monde de la recherche, de la diffusion et de la médiation en histoire et en archéologie, elles ne reflètent donc qu'un point de vue. Pour aller plus loin, nous devons nous intéresser à l'état de l'art sur la question de l'usage de la réalité virtuelle pour la recherche, la diffusion et la médiation en histoire et en archéologie.

État de l'art théorique, expérimental et technologique

Chapitre III

Nos expériences précédemment réalisées nous ont interrogé sur l'intégration de l'immersion en réalité virtuelle dans la recherche, la diffusion et la médiation en histoire et en archéologie. Elles révèlent en effet que malgré des qualités qui nous semblent évidentes, leur usage reste marginal auprès des différents acteurs du patrimoine. Nous ne pouvons nous contenter de cet a priori et devons entreprendre un état de l'art pour mieux cerner les pratiques des acteurs du patrimoine concernant l'usage de la 3D en général et de l'immersion en réalité virtuelle en particulier.

Pour se donner une idée de la difficulté de cette tâche, il suffit d'observer qu'en recherchant les termes « *Digital Heritag*e » (que l'on pourrait traduire par « Patrimoine numérisé ») sur *Google Scholar*, on obtient deux millions de résultats, donc deux millions de références d'articles scientifiques contenant ces termes. Rien que pour l'année 2020, cette requête renvoie plus de trente mille résultats. Deux constats s'imposent : après avoir modifié durablement nos vies, le numérique est résolument parti à l'assaut du patrimoine ; parcourir l'ensemble de cette production est impossible et des choix s'imposent pour orienter notre état de l'art.

Premièrement, nous devons éclaircir la notion de restitution patrimoniale, une discipline qui est à même de profiter au mieux de l'immersion en réalité virtuelle. Nous verrons que la notion de patrimoine peut être comprise de manière très large ou au contraire se réduire au domaine des objets physiques tangibles. C'est en explorant cette seconde définition que nous pourrons établir les grands principes fondateurs d'un domaine actif depuis des siècles et qui est ancré profondément dans la troisième dimension : la conservation du patrimoine qui a développé des concepts et principes qui sont utilisés pour la restitution patrimoniale.

Il est également indispensable de définir ce que l'on comprend par réalité virtuelle, un terme qui a de nombreuses acceptions et dont les acronymes sont aussi sources de confusion. « VR » est ainsi parfois utilisé dans le domaine de la restitution pour « *Virtual Reconstruction* »[1] et non pour « *Virtual Reality* » ! Nous nous intéresserons aux différentes technologies de la réalité virtuelle, ses concepts fondamentaux et les pistes de recherche actuelles en rapport avec notre étude.

Dans la suite de cet état de l'art, nous nous intéresserons spécifiquement aux expérimentations des chercheurs pour le patrimoine qui ménagent une place importante aux technologies de la réalité virtuelle. Nous répartissons ces expérimentations autour de quatre grandes tâches pour lesquelles l'usage de la troisième dimension peut être utile : numériser le patrimoine, formuler des hypothèses, organiser des connaissances et visualiser des informations. Dans chacune de ces tâches, nous pourrons ainsi mettre en évidence des usages récurrents de la réalité virtuelle ou des enjeux de la recherche.

Enfin, nous aborderons l'usage de ces technologies lors de la diffusion et de la médiation scientifique et verrons comment la réalité virtuelle est mise à profit en dehors du laboratoire de recherche. Nous verrons que les initiatives dans ce domaine utilisent principalement ce médium pour ses capacités à susciter l'engagement de l'utilisateur ou en remplacement d'un objet réel, comme dans le cas d'expositions virtuelles.

1 Hermon *et al.* 2005.

La restitution patrimoniale

La restitution patrimoniale est une discipline qui se pratique depuis des siècles et consiste à rendre compte de l'aspect d'un élément de patrimoine à une date précise du passé. Elle s'est développée en France avec les « envois de Rome », travaux de relevés et de restitution réalisés par les architectes français en séjour dans cette ville à partir de la fin du XVII[e] siècle. Eugène Viollet-le-Duc a par exemple produit une restitution du théâtre de Taormine, en Sicile, à partir de l'observation des vestiges archéologiques au XIX[e] siècle (*Fig. 18*). Pour Mestre et Franco, la restitution peut être considérée comme :

> [...] une interprétation de l'architecture, faite à partir de l'élaboration d'hypothèses. Ces interprétations peuvent être représentées de manières divers et sur des supports différents, sans déboucher nécessairement sur une restitution matérielle[2].

Ces auteurs évoquent directement l'architecture comme étant le terrain privilégié de la restitution, pourtant le patrimoine ne se limite pas à l'architecture. Il est défini comme :

> A. Ensemble des biens hérités des ascendants ou réunis et conservés pour être transmis aux descendants.
> B. Ce qui est transmis à une personne, une collectivité, par les ancêtres, les générations précédentes, et qui est considéré comme un héritage commun[3].

On perçoit bien que la première définition est plus restrictive que la seconde, puisqu'elle se limite essentielle aux biens, c'est-à-dire à des entités tangibles. Sont ainsi exclus de cette définition les comportements, les valeurs morales ou culturelles qui entrent, au contraire, dans la définition « large » de la notion de patrimoine.

La nécessité de garantir la transmission du patrimoine aux générations futures a très tôt mené les responsables de ce patrimoine à entreprendre des actions pour permettre sa conservation. C'est à partir de ces pratiques, parfois décriées comme certaines reconstructions jugées abusives de Viollet-le-Duc, que s'est construit un ensemble de règles et de chartes qui s'appliquent aujourd'hui à la conservation du patrimoine.

Or, ces règles ont fortement influencé la manière dont le patrimoine peut être restitué, aussi bien dans le monde réel que dans le monde virtuel des images ou de la réalité virtuelle.

Conservation du patrimoine

La conservation du patrimoine est aujourd'hui régie par un ensemble de textes nationaux et internationaux. Nous nous arrêterons sur les textes produits par l'ICOMOS, le Conseil international des Monuments et des Sites qui depuis sa création en 1965 vise à promouvoir les méthodes et techniques de conservation, de protection et de médiation des monuments et des sites. L'ICOMOS s'est créé autour d'un document fondateur appelé Charte de Venise publié en 1964[4]. Ce texte est constitué de seize articles répartis en thématiques : définitions, conservation, restauration, site, monuments, fouilles ainsi que documentation et publication.

2 Bellet *et al.* 2005.
3 TLFI, « Patrimoine ».
4 ICOMOS 1964.

Fig. 18. Restitution du théâtre antique de Taormin par Eugène Viollet-le-Duc, 1840. Image : Médiathèque de l'Architecture et du Patrimoine.

Sur la conservation proprement dite, la charte est en réalité peu loquace, c'est sur la restauration qu'elle est la plus éclairante.

> [Article 9.] La restauration est une opération qui doit garder un caractère exceptionnel. Elle a pour but de conserver et de révéler les valeurs esthétiques et historiques du monument et se fonde sur le respect de la substance ancienne et de documents authentiques. Elle s'arrête là où commence l'hypothèse, sur le plan des reconstitutions conjecturales, tout travail de complément reconnu indispensable pour raisons esthétiques ou techniques relève de la composition architecturale et portera la marque de notre temps. La restauration sera toujours précédée et accompagnée d'une étude archéologique et historique du monument[5].

Le travail de restauration, qui consiste donc à révéler la valeur esthétique et historique d'un monument, doit s'appuyer sur une documentation historique. Cela implique une étape de recherche scientifique, de documentation et de publication, permettant d'établir l'aspect du patrimoine à un moment donné de l'histoire, et de déterminer si cet aspect permet ou non de valoriser le patrimoine. Un élément essentiel de cet article réside dans l'obligation de faire porter « la marque de notre temps » à toute reconstitution architecturale : il est donc nécessaire que l'on puisse visualiser simplement quelles parties sont d'origine et quelles parties ont fait l'objet d'une restauration. À ce sujet, l'article 12 précise :

> Les éléments destinés à remplacer les parties manquantes doivent s'intégrer harmonieusement à l'ensemble, tout en se distinguant des parties originales, afin que la restauration ne falsifie pas le document d'art et d'histoire[6].

5 ICOMOS 1964.
6 ICOMOS 1964.

Le Document de Nara sur l'Authenticité[7], également texte de l'ICOMOS, développe plus en détail la notion d'authenticité qui permet de distinguer ce qui relève d'une restauration de ce qui est un élément d'origine. Pour comprendre l'authenticité d'un bâtiment il convient de se reporter à des sources d'informations :

> Article 9 […] Knowledge and understanding of these sources of information, in relation to original and subsequent characteristics of the cultural heritage, and their meaning, is a requisite basis for assessing all aspects of authenticity[8].
> Article 13 […] Aspects of the sources may include form and design, materials and substance, use and function, traditions and techniques, location and setting, and spirit and feeling, and other internal and external factors. The use of these sources permits elaboration of the specific artistic, historic, social, and scientific dimensions of the cultural heritage being examined.

Ce document liste donc les différentes sources qui peuvent être utilisées pour permettre de mieux cerner la valeur et l'authenticité du patrimoine à conserver. On voit clairement ici le lien se préciser entre conservation du patrimoine et recherche historique et archéologique : ce sont ces deux disciplines qui permettent de comprendre et de mettre en évidence la valeur du patrimoine.

Enfin, un troisième document de l'ICOMOS, plus récent, est la Charte pour l'Interprétation et la Présentation des Sites du Patrimoine Culturel[9], de 2008. En effet, dès la Charte de Venise, la notion de partage et de diffusion de la connaissance relative à un site est abordée en filigrane. Cette charte vise donc à préciser les objectifs de présentation du patrimoine au public autour de sept principes : accès et compréhension, sources d'information, attention à l'emplacement et au contexte, préservation de l'authenticité, développement durable, inclusion et importance de la recherche, de la formation et de l'évaluation. La charte utilise le terme « interprétation » afin de désigner :

> […] the full range of potential activities intended to heighten public awareness and enhance understanding of cultural heritage site. These can include print and electronic publications, public lectures, on-site and directly related off-site installations, educational programmes, community activities, and ongoing research, training, and evaluation of the interpretation process itself[10].

Elle stipule en outre (Principe 1.1) qu'une interprétation efficace devrait permettre une expérience personnalisée et d'augmenter la compréhension et le respect du public envers le patrimoine concerné. De plus, l'interprétation devrait faire état de l'ensemble des sources, qu'elles soient écrites, orales, archéologiques, etc. qui permettent sa compréhension (Principe 2.1). Pour traiter l'ensemble de ces données, l'interprétation devrait se baser sur une étude pluri-disciplinaire (Principe 2.2).

Cette charte montre que la notion de patrimoine recouvre non seulement la conservation d'un objet lui-même, mais aussi son étude afin de pouvoir mieux cerner son contexte et de pouvoir le présenter au public. Pour cela, un des outils souvent utilisé est la restitution architecturale.

7 ICOMOS 1994.
8 *Ibid.*
9 ICOMOS 2008.
10 *Ibid.*

Restitution du patrimoine

Le terme « restitution » fait partie d'une famille de mots qui sont parfois confondus entre eux pour désigner l'acte de produire une image de l'état passé d'un objet. On parle souvent de « reconstruction » pour désigner le fait de produire l'image d'un monument détruit tel qu'il était avant sa destruction, mais ces deux termes ont des significations bien différentes.

Restitution ou reconstruction ?

Jean-Claude Golvin, praticien de la restitution archéologique par les aquarelles, dresse une liste de huit termes qui peuvent prêter à confusion : restitution, reconstitution, remontage, reconstruction, réfection, restauration, évocation, simulation[11]. Il définit la restitution comme suit :

> Il s'agit, bien entendu, de « redonner » l'idée d'un monument (d'un site, d'un objet) ancien. Or, restituer l'idée de ce monument consiste à en redonner l'image au sens large. Il est fondamental de comprendre que la restitution est essentiellement une image et qu'elle est donc de l'ordre des signes. Elle rend compte d'un objet, mais elle n'est pas matérielle[12].

À partir de cette définition, il est possible de mieux comprendre par contraste les autres termes de la famille. La reconstitution consiste à replacer, physiquement, les éléments épars dont un bâtiment était fait, elle se rapproche du remontage, qui est la même opération mais pour des éléments qui sont issus d'un démontage : le replacement lors d'un remontage ne nécessite pas de recherches contrairement à la reconstitution. La reconstruction est quant à elle un processus visant à construire un édifice neuf qui aurait la forme de l'ancien. La réfection est un processus similaire mais qui se limite aux parties connues quand la reconstruction peut également construire des parties hypothétiques. L'évocation est une restitution, donc une image, que l'on pourrait considérer comme plus libre vis-à-vis de la réalité historique ou archéologique. Enfin, la simulation est une « opération qui consiste à imiter un phénomène, un mouvement, un parcours, par anticipation ou après coup, et permet d'en reproduire à volonté les caractéristiques »[13].

Puisque nous nous intéressons spécifiquement à la question de l'usage de la réalité virtuelle, nous pouvons exclure a priori tous les mots qui impliquent une intervention physique sur l'objet réel : si la restitution peut éventuellement aider au remontage, elle reste dans le domaine purement virtuel de l'image. Pour autant, il est possible de simuler toutes ces interventions dans la réalité virtuelle : une reconstruction virtuelle pourrait tout à fait avoir lieu en se basant sur l'image numérique d'un site.

La reconstruction physique, dans le monde réel, d'un bâtiment ancien détruit est un choix qui doit s'appuyer sur des arguments forts tant il va, on l'a vu, à l'encontre des principes énoncés par les principales chartes de l'ICOMOS. Même pour des bâtiments parfaitement documentés, ce processus de reconstruction est source de questionnement : on le voit notamment sur le projet de reconstruction de la toiture de Notre-Dame de Paris. Dans ses principes et pratiques de la reconstruction des ruines, Nicholas Stanley-Price, énumère des principes à considérer lors de la réalisation d'une reconstruction :

11 Bellet *et al.* 2005, p. 11.
12 *Ibid.*, p. 13-14.
13 *Ibid.*, p. 15.

1. A reconstructed building – if based primarily on excavated evidence – must be considered a new building (reconstruction as a creative act).
2. Reconstruction of one or more buildings is to be considered only if the values (including the landscape value) of a site will be better appreciated than if the buildings are left in a ruined state (the ruin as a source of inspiration or as a memorial).
3. The surviving evidence for the former building must be fully documented in such a way that this record is always available in the future (a scientific and ethical obligation to record for posterity).
4. The surviving evidence for the former building, or for different historical phases of it, must not be destroyed or made inaccessible by the very act of reconstructing it (a scientific obligation to allow (built) hypotheses to be verified or rejected).
5. The evidence – its strengths and its limitations – for the reconstructed form must be interpreted clearly to all visitors (an ethical obligation not to mislead or misinform the public).
6. Buildings that have been wrongly reconstructed in the past could, on a case-by-case basis, be preserved as they are (reconstructions as part of the history of ideas)[14].

Ces principes permettent d'orienter les choix de reconstruction, mais ils sont à garder en tête lors de la réalisation d'une restitution, cette dernière pouvant être un moyen de circonvenir aux limitations de la reconstruction.

Dans la conclusion de sa thèse portant sur les *Problèmes méthodologiques, limites et enjeux de la restitution archéologique et historique*[15], Isabelle Reverdy-Médélice met en évidence les difficultés posées par la production de restitutions. Les images produites auraient un aspect indélébile et porteraient en elles-mêmes les erreurs de leurs concepteurs pouvant altérer la vérité historique ou archéologique. La restitution elle-même serait encore vue par de nombreux chercheurs comme un outil de médiation uniquement, et non comme un outil de travail. Elle souligne, en dernier lieu, la nécessité de concevoir un logiciel permettant de faciliter la conservation et la diffusion des restitutions. La restitution, si elle a longtemps été réalisée par des peintres, des aquarellistes ou des architectes en utilisant des supports physiques, est aujourd'hui souvent réalisée sur informatique.

Restitution informatique

L'utilisation des moyens technologiques actuels a rendu possible de nouvelles techniques pour réaliser des restitutions patrimoniales. Si les techniques traditionnelles peuvent être adaptées directement pour fonctionner sur ordinateur (avec des tablettes graphiques qui permettent de travailler avec des pinceaux numériques ou simuler l'aquarelle, par exemple), les restitutions peuvent aussi s'appuyer sur de nouveaux outils : les logiciels créés pour les ingénieurs, les architectes ou le monde du jeu vidéo. Ils permettent la modélisation par un opérateur puis la production d'images issues du modèle en trois dimensions de manière automatique.

Le laboratoire Archéovision à Bordeaux s'est spécialisé dans l'usage de ces technologies pour l'étude et la valorisation du patrimoine. Cette spécialisation s'appuie selon Robert Vergnieux[16] sur deux postulats : d'une part que « l'immédiateté de l'impact visuel que produisent ces images facilite grandement la valorisation patrimoniale » et d'autre part que les modèles produits pour la recherche scientifique diffèrent de ceux produits pour la valorisation. L'intérêt de la modélisation de la restitution tridimensionnelle serait donc, pour cet auteur, avant tout de réaliser un modèle à l'échelle 1, sorte de « double virtuel » du site et donc d'avoir un niveau de détail suffisant afin d'entreprendre une démarche de validation des hypothèses

14 Stanley-Price 2009.
15 Reverdy-Médélice 2012.
16 Vergnieux 2011.

de restitution. Pour autant, les modèles dédiés à la médiation et ceux dédiés à la recherche scientifique seraient de deux nature tout à fait différentes :

> Dans un cas les productions visuelles ont pour rôle de crédibiliser des affirmations faiblement, voire pas du tout étayées par les sources anciennes. Dans l'autre cas c'est utiliser ces modèles 3D comme outil d'aide à la recherche en autorisant une approche fine et rigoureuse des hypothèses de restitution[17].

La Charte de Londres vise à encadrer l'usage des technologies numériques pour la restitution historique et archéologique tout en donnant un ensemble de bonnes pratiques pour les professionnels. Elle impose ainsi de peser le pour et le contre avant d'effectuer ce type de restitution, de ne la réaliser que lorsqu'il s'agit de la méthode la plus adaptée, dans un cadre académique précis et renseigné par des sources et de la documentation archéologiques ou historiques. Nous relèverons deux principes fondamentaux que prône cette charte :

> Principle 4. Sufficient information should be documented and disseminated to allow computer-based visualisation methods and outcomes to be understood and evaluated in relation to the contexts and purposes for which they are deployed.
> Principle 5. Strategies should be planned and implemented to ensure the long-term sustainability of cultural heritage-related computer-based visualisation outcomes and documentation, in order to avoid loss of this growing part of human intellectual, social, economic and cultural heritage[18].

La restitution numérique doit donc être accompagnée d'une stratégie assurant la visualisation des données utilisées pour la réaliser, et la garantie d'une conservation et d'un accès à long terme.

La production de ces modèles 3D de restitution nécessite d'utiliser des outils spécifiques. Le Consortium 3D liste quelques-uns de ces outils, qui possèdent chacun des domaines d'application préférentiels issus de la communauté qui les a fait naître (architecture, ingénierie, animation, effets spéciaux, jeux vidéo, etc.) : 3DS max, Maya, Blender, SolidWorks, Cinema4D, Zbrush, Mudbox, AutoCAD et Sketchup[19]. Cette liste est loin d'être exhaustive, elle exclut notamment certains logiciels utilisés dans l'industrie (CATIA, SolidEdge, par exemple) ou dans l'architecture (VectorWorks ou Revit pour le BIM). Si la plupart de ces logiciels intègrent une solution de rendu 3D (qui permet de produire des images à partir de la scène et des données de texture et d'éclairage), certains moteurs se greffant sous la forme de plugins sur ces logiciels sont également listés par le Consortium 3D : Mental Ray, V-Ray et Coron[20]. Encore une fois, cette liste n'est pas exhaustive et évolue rapidement au gré de l'apparition de nouvelles technologies et de nouvelles attentes : Arnold, Artlantis, TwinMotion, etc.

De même que la production des aquarelles du temps des Envois de Rome nécessitait un savoir-faire spécifique et artistique, la restitution numérique nécessite également la maîtrise de logiciels et de techniques qui évoluent rapidement et sont encore aujourd'hui à la limite entre sciences numériques, infographie et architecture.

17 Vergnieux 2011, p. 40-41.
18 London Charter 2009.
19 Consortium 3D 2017, p. 74.
20 *Ibid.*, p. 74.

La réalité virtuelle : technologies et concepts

Qu'est-ce que la réalité virtuelle ? Un concept dont le nom est un oxymore ne peut être que difficilement défini, d'autant plus que les termes qui le composent « réalité » et « virtualité », ont eux-mêmes des acceptions très larges, qui ont parfois trait à la philosophie. La réalité serait « ce qui existe indépendamment du sujet, ce qui n'est pas le produit de la pensée »[21] tandis qu'est virtuel ce qui « est à l'état de simple possibilité ou d'éventualité »[22]. Ensemble, les mots de « réalité virtuelle » apparaissent pour la première fois, semble-t-il[23], en 1938 dans le contexte de la mise en scène et du théâtre où ils désignent l'illusion de réalité produite par les acteurs sur scène[24].

Aujourd'hui, ces termes recouvrent plusieurs réalités. Pour le grand public, la réalité virtuelle désignera probablement un dispositif permettant de visiter un environnement virtuel grâce à un casque. Pour le monde de la recherche, la réalité virtuelle est un continuum d'applications et d'outils possibles faisant le lien entre un environnement réel et un environnement virtuel : réalité amplifiée, réalité augmentée, réalité médiée, virtualité augmentée, réalité virtualisée[25] sont autant de possibilités qui correspondent à des usages et à des pratiques bien spécifiques. Plutôt que de chercher à définir chacun de ces termes individuellement, nous les avons replacés sur le continuum entre réalité et virtualité (*Fig. 19*). Dans ce contexte, la virtualité est définie comme un environnement dans lequel « l'utilisateur est complètement immergé dans un monde de synthèse qui peut ou non imiter les propriétés de l'environnement réel[26] ».

Dans cette vision académique de la réalité virtuelle, il est difficile de replacer la vision « grand public », qui s'attache avant tout à un dispositif technique plutôt qu'aux imbrications des environnements du monde réel avec le monde virtuel. Dès lors, il faut imaginer un autre continuum, celui de la réalité mixte, où pour un utilisateur, on fait augmenter la place de la médiation numérique générée par ordinateur[27]. Les deux extrêmes de ce continuum sont alors la réalité telle que nous la percevons tous les jours (sans dispositif de médiation informatique), et l'injection du monde virtuel directement dans le système nerveux[28] (ce qui relève toujours aujourd'hui de la science-fiction). Entre ces deux extrêmes, l'expérience de la réalité virtuelle avec un casque prend toute sa place.

Les travaux de recherche de cette thèse s'intéressent donc à la réalité virtuelle, tant du point de vue des dispositifs (qui recouvrent les technologies comme le CAVE ou les casques de réalité virtuelle dont nous détaillerons la signification par la suite) que du point de vue des environnements (qui recouvrent donc la virtualité augmentée, la réalité virtualisée et la virtualité). La *Fig. 19* schématise les deux acceptions de « réalité virtuelle » que nous retiendrons pour l'ensemble de cette thèse. Nous nous intéresserons dans un premier temps aux dispositifs eux-mêmes et ferons un bref tour d'horizon des technologies les plus répandues actuellement en utilisation dans la recherche et pour le grand public. Par la suite, nous nous intéresserons aux environnements eux-mêmes, avec les concepts qui sous-tendent la notion d'immersion

21 TLFi, « Réalité ».
22 *Ibid.*, « Virtuel ».
23 Davis 2015.
24 Artaud 1938.
25 Milgram *et al.* 1994.
26 *Ibid.*. 1994, p. 283.
27 Laroche 2017, p. 157.
28 Dangelmaier et Blach 2017.

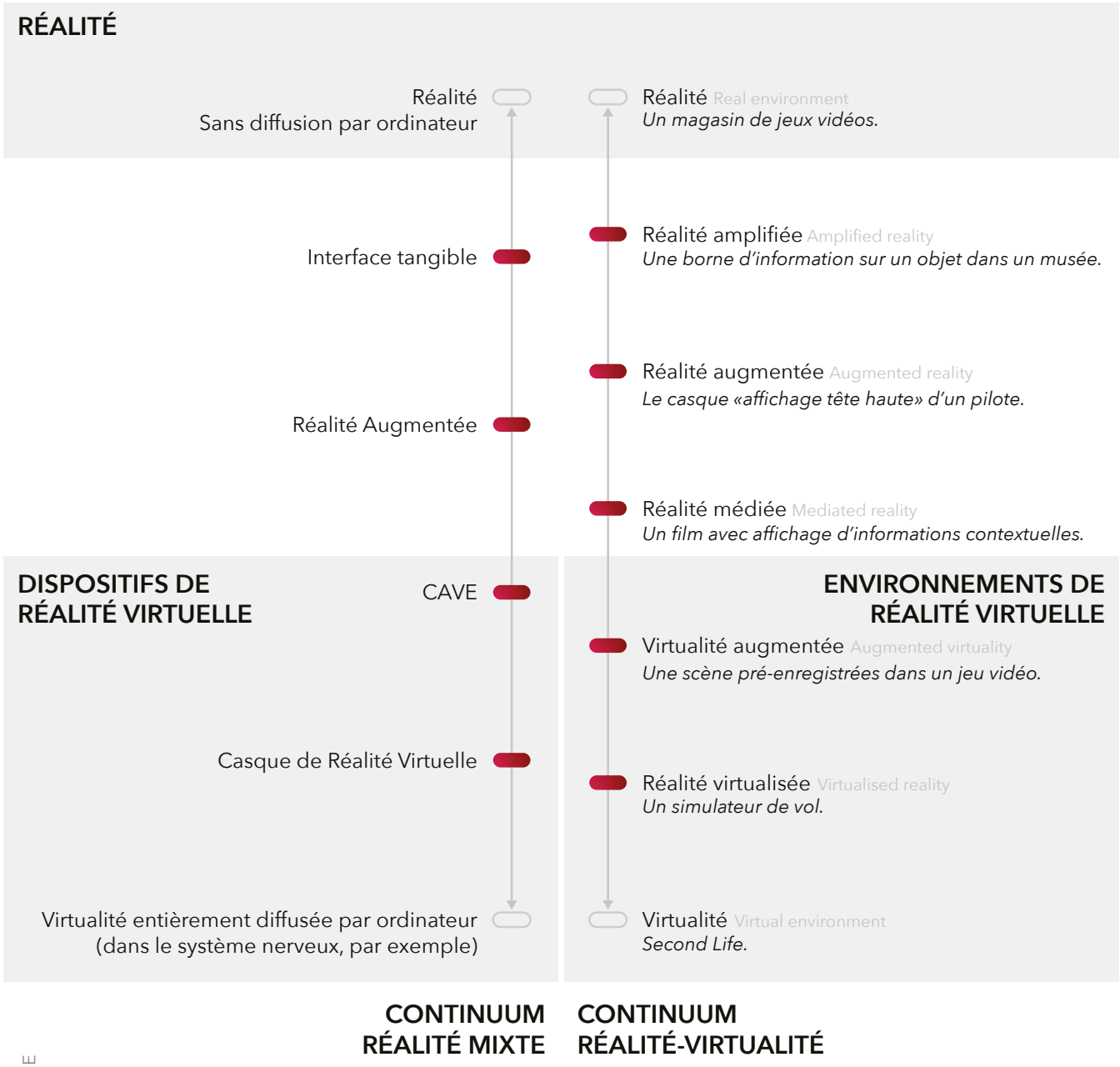


Fig. 19. **La réalité virtuelle dans le continuum de la réalité mixte et dans le continuum de la réalité-virtualité, d'après Dangelmeir et Blach (à gauche) et Milgram et al. (à droite).**

en réalité virtuelle et les différentes pistes de recherche actuellement suivies dans le domaine de la réalité virtuelle.

Technologies d'immersion en réalité virtuelle

En 2016, un avant le début de nos travaux de thèse, Christoph Anthes et son équipe réalisaient un état de l'art des technologies de réalité virtuelle disponibles à cette époque et l'organisaient autour de deux grandes catégories : les dispositifs de sortie (*output devices*), et les dispositifs d'entrée (*input devices*)[29]. Les dispositifs de sortie sont ceux qui permettent de transmettre à l'utilisateur les données calculées par un ordinateur, comme un écran par exemple, tandis que les dispositifs d'entrée sont ceux qui permettent à l'utilisateur d'envoyer des informations à l'ordinateur

29 Anthes *et al.* 2016.

comme un clavier. Quatre ans plus tard, comment la situation a-t-elle évolué concernant les technologies de réalité virtuelle ? L'extraordinaire diversité qui semblait animer le domaine au moment de l'écriture de l'article a apparemment fait place à une réduction drastique autour de quelques technologies phares, aptes à conquérir à la fois le monde académique et le grand public.

Dispositifs de sortie

Dans l'étude de Anthes, les dispositifs de sortie sont classés en plusieurs catégories : les HMD (*Head-Mounted Display*, écran fixé à la tête), les outils haptiques et les dispositifs multi-sensoriels. Si nous pouvons reprendre cette classification, notons qu'elle exclut d'emblée les dispositifs *Spatially Immersive Devices* (SID) qui forment un type d'immersion plutôt orienté vers les professionnels et qui ne sont pas à la portée du grand public. Parmi eux les dispositifs de type CAVE sont les plus connus et utilisés.

Dispositifs SID

Les *Spatially Immersive Devices* désignent les dispositifs qui se basent sur des écrans de grande dimension, positionnés dans l'espace, pour recréer le sentiment d'immersion chez l'utilisateur. Parmi eux, le CAVE (*CAVE Automatic Virtual Environment*, un acronyme récursif) est un dispositif né au début des années 1990.

> The VR had to help them achieve scientific discoveries faster, without compromising the color, resolution, and flicker-free qualities they have come to expect using workstations. Scientists have been doing single-screen stereo graphics for more than 25 years; any VR system had to successfully compete. Most important, the VR display had to couple to remote data sources, supercomputers, and scientific instruments in a functional way. In total, the VR system had to offer a significant advantage to offset its packaging. The CAVE, which basically met all these criteria, therefore had success attracting serious collaborators in the high-performance computing and communications (HPCC) community[30].

Le dispositif CAVE, tel que décrit par Carolina Cruz-Neira sa créatrice[31], est constitué de trois écrans carrés d'environs 3 m de côté disposés de manière à établir, avec le sol, quatre des six côtés d'un cube. Des vidéos projecteurs projettent sur la surface arrière de ces écrans, et depuis le plafond pour le sol, les images calculées par ordinateur (*Fig. 20*). Le concept de base qui régit le fonctionnement du CAVE est de considérer le cube comme une approximation de la sphère, elle même représentation la plus évidente d'une projection de l'environnement qui nous entoure, et d'y projeter l'environnement virtuel qui entoure l'utilisateur. Des lunettes portées par l'utilisateur informent l'ordinateur de la position de l'utilisateur dans le cube ainsi défini, permettant à l'ordinateur d'ajuster les différentes projections sur les faces du cube pour simuler un déplacement dans le monde virtuel. En plus de cela, une image légèrement différente est calculée pour chacun des deux yeux de l'utilisateur, permettant la simulation de la paralaxe qui permet la perception du volume des objets. Des vidéo-projecteurs spécifiques, associés à des lunettes à filtre polarisant (c'est-à-dire qui ne laissent passer que la lumière polarisée dans une certaine direction), permettent à l'utilisateur de visualiser une image différente depuis chaque œil.

Si cette technologie est toujours utilisée, elle a subi en trente ans de nombreuses évolutions. La plateforme Immersia à Rennes, développée dans le cadre du projet européen Visionair[32], est un exemple de l'évolution de ce type de dispositif SID. Im-

30 Cruz-Neira *et al.* 1993, p. 134.
31 *Ibid.*
32 Visionair est un projet européen de création d'un réseau de plateforme de visualisation en réalité virtuelle.

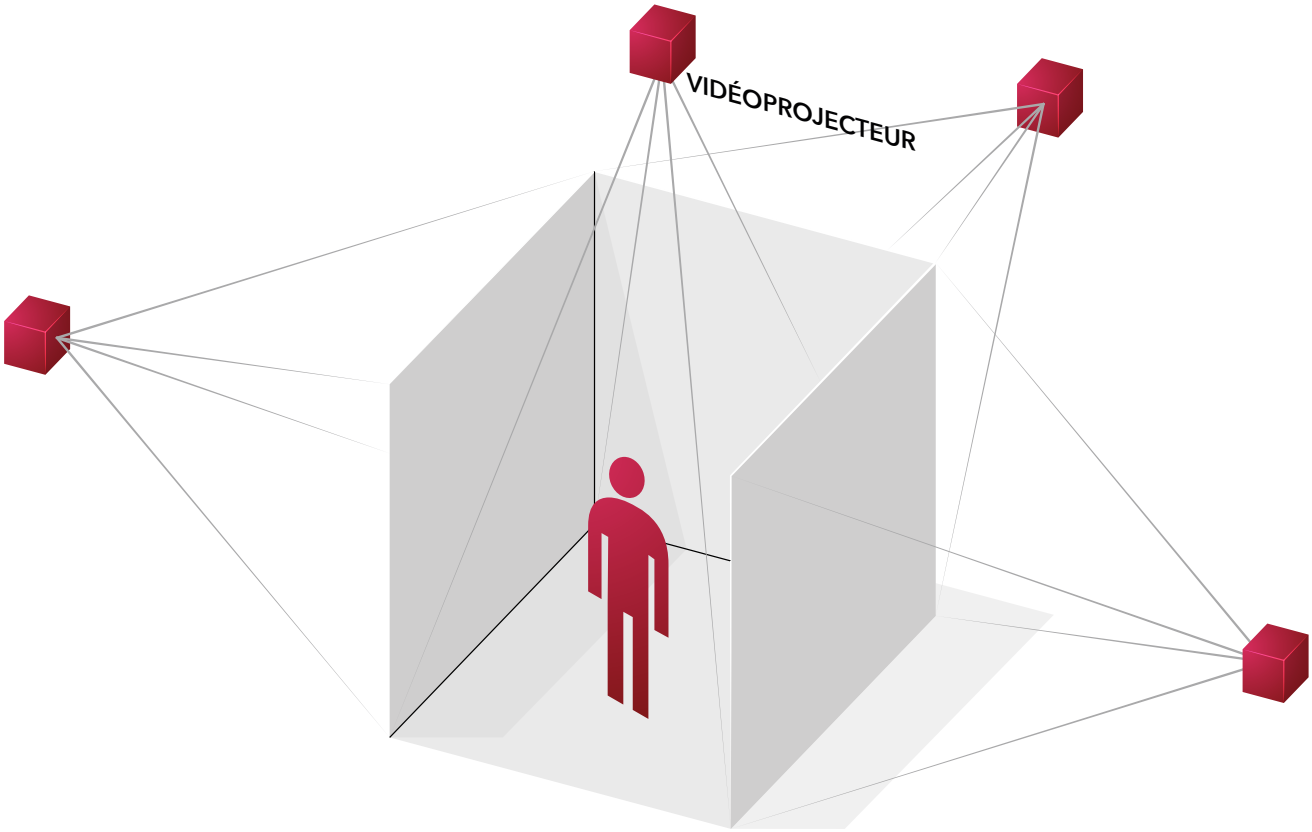


Fig. 20. Schéma de principe d'un utilisateur immergé dans une structure de type CAVE où quatre vidéoprojecteurs restituent l'environnement virtuel sur quatre faces d'un cube.

mersia repose sur un espace de visualisation de près de dix mètres de large, pour une profondeur et une hauteur de trois mètres[33] : c'est l'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs qui a permis l'augmentation de la taille des installations. Elle a en outre permis de modifier la forme de ces dispositifs puisqu'il est maintenant possible de calculer les déformations à appliquer à une image pour la projeter via un vidéo-projecteur traditionnel sur une surface sphérique. Le concept de Hyve-3D, conçu par l'équipe de Tomás Dorta, repose en effet sur une surface sphérique concave entourant l'utilisateur[34] devant lui et sur ses côtés. L'image y est projetée par un vidéo-projecteur *via* un miroir hémisphérique. Sous cette forme, le dispositif n'immerge pas l'utilisateur à 360° et n'opère pas non plus de suivi de la position de celui-ci ou de vision stéréoscopique. En revanche, les auteurs pointent l'intérêt du dispositif pour une expérience de groupe.

La création d'architectures spécifiques permettant l'immersion, dans des conditions variées (au cœur de l'image ou autour de l'image par exemple) de la réalité, conduit à la création de dispositifs innovants. Le projet CORAULIS, construit à l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, vient ainsi proposer une nouvelle modalité d'accès à la réalité virtuelle tout en permettant de la coupler avec l'interaction d'objets physiques, comme des maquettes, placés au centre de l'espace[35]. Ce dernier prend la forme d'un espace cylindrique conique permettant la projection d'images à 360° autour d'utilisateurs, et d'un balcon tout autour permettant la visualisation de l'expérience depuis un point de vue extérieur.

Dispositifs HMD

Depuis la publication de Anthes en 2016, la situation concernant les dispositifs HMD, que l'on nomme « casques de réalité virtuelle » (*Fig. 21*), a considérablement

33 Gaugne *et al.* 2014.
34 Dorta *et al.* 2016.
35 Milovanic *et al.* 2017.

Fig. 21. Utilisateur d'un dispositif HMD (HTC Vive Pro) avec une manette dans la main droite à la Fête de la Science 2019 à Lyon.

changé puisque les technologies sont devenues plus matures et se sont recentrées autour d'un nombre réduit d'acteurs et de constructeurs. La liste des cinq dispositifs de casques les plus répandus aujourd'hui est selon l'étude de Vladislav Angelov *et al.* sur laquelle nous nous appuyons : Oculus Rift S, HTC Vive Pro, HTC Vive Cosmos, Valve Index, Samsung HMD Odyssey[36]. L'ensemble de ces casques a pour particularité de nécessiter un ordinateur pour fonctionner : ils ne sont en charge que de deux tâches, à savoir l'affichage d'une image différente pour chaque œil, calculée par l'ordinateur, et l'envoi des informations de position et d'orientation de la tête de l'utilisateur à l'ordinateur. Cela nécessite donc une liaison constante entre le casque et l'ordinateur, traditionnellement réalisée par un ou plusieurs câbles, même si des solutions basées sur les ondes sont développées par les constructeurs.

Ces casques se différencient par les écrans qu'ils utilisent, notamment du point de vue de leur résolution (avec une résolution par œil allant de 1280*1440 pixels à 1440*1700 pixels), leur taux de rafraîchissement (de 80 à 144Hz), ou leur champ de vision (de 90° à 130°). Les évolutions technologiques vont dans le sens d'une amélioration de ces caractéristiques, de telle sorte que le casque HTC Vive sur lequel nous avons fait nos expérimentations durant cette thèse, sorti en 2016, présente une résolution de 1080*1200 pixels, tandis que son successeur sorti en 2019 présente une résolution de 1440*1700 pixels, soit une augmentation de près de 90% de la quantité de pixels perçue par chaque œil.

Pour fonctionner, ces dispositifs nécessitent le recours à du tracking, c'est-à-dire au suivi et à l'estimation de leur position dans l'espace. Deux types de tracking sont à l'œuvre : le tracking orientationel et le tracking positionnel[37]. Le premier détermine l'orientation de la tête de l'utilisateur dans l'espace, le second la position de la tête dans l'espace. Pour permettre de connaître la position ou l'orientation, le système peut s'appuyer sur des marqueurs externes (appelés stations de base), dont la posi-

36 Angelov *et al.* 2020.
37 *Ibid.*

tion est connue et en déduire la position du casque lui-même (comme sur HTC Vive, HTC Vive Pro et Valve Index), ou s'appuyer uniquement sur les données de l'environnement sans recourir à des marqueurs externes. L'intérêt de la deuxième solution est la facilité de mise en œuvre, ne nécessitant pas de phase d'installation et de configuration avant l'utilisation.

Certains dispositifs HMD ne nécessitent pas d'ordinateur associé, mais souffrent selon Angelov de plusieurs problèmes :

> [Stand alone devices] by providing mobility it also brings several important drawbacks. Most importantly, the performance of such kind of devices is directly limited by the processing power of the hardware built into them. This, in turn, leads to severe restrictions or complete deprivation of the ability to support technically demanding applications designed for high-performance systems. In addition, another equally important flaw is that the operating time of standalone devices is limited by the capacity of the batteries used in them[38].

Ils se divisent principalement en deux catégories : les dispositifs dans lesquels l'utilisateur peut placer un téléphone portable, et les dispositifs complets intégrant casque, écrans et processeur. Parmi les premiers, la solution la moins coûteuse aujourd'hui reste l'utilisation d'un *Google Cardboard* qui consiste en un casque fabriqué en carton, appelé visionneuse, avec deux lentilles et à l'intérieur duquel vient se placer le téléphone de l'utilisateur. Un ensemble de règles de conception d'applications spécifiques permet ensuite le développement d'expériences de réalité virtuelle[39] à moindre coût. L'utilisation de cette technologie se limite aujourd'hui à un tracking orientationnel : seule la direction du regard peut être prise en compte. Cependant, l'évolution de la technologie des téléphones portables et l'intégration dans certains d'entre eux de capteurs LiDAR[40] permettant une reconnaissance tridimensionnelle de leur environnement[41] laisse penser que cette solution pourrait, à l'avenir, permettre un tracking positionnel complet de l'utilisateur.

Les casques autonomes complets sont représentés par l'Oculus Quest 2[42], conçu par Facebook et commercialisé à partir de 2020. Ils forment une alternative mobile intéressante aux casques de réalité virtuelle reliés à un ordinateur (et ce bien que l'Oculus Quest 2 puisse également être relié à un ordinateur et fonctionner dans ce mode), permettent un tracking positionnel et sont aujourd'hui moins chers que la combinaison *Google Cardboard* avec téléphone à LiDAR. Ils offrent néanmoins pour la recherche une souplesse de développement moindre, nécessitant une étape supplémentaire de transfert des données depuis l'ordinateur de conception de l'expérience virtuelle jusqu'au casque lui-même et donc la séparation entre l'environnement de développement et l'environnement de test. C'est néanmoins un défaut que l'on retrouve dans la solution *Google Cardboard*.

Puisque les dispositifs de type HMD sont en contact avec le visage de l'utilisateur, il est nécessaire de s'interroger sur une utilisation hygiénique de ces solutions, particulièrement en situation de pandémie mondiale[43]. La plupart des casques sont conçus pour s'appuyer sur le visage de l'utilisateur par le biais d'une mousse qui pourrait rapidement s'imprégner d'agents pathogènes, et qu'il n'est pas possible de désinfecter à chaque usage avec une solution hydro-alcoolique. L'existence de masques en tissu se portant au niveau des yeux et jouant le rôle d'interface entre la mousse de confort du casque et la peau est donc une solution intéressante, bien qu'elle soit productrice de déchets. Elle doit en outre être complétée par l'utilisation

38 *Ibid.*
39 Chen 2019.
40 *Light detection and ranging*, en français « détection et estimation de la distance par la lumière ».
41 C'est le cas par exemple des iPhone 12 Pro commercialisés à partir d'octobre 2020.
42 https://www.oculus.com/quest-2/ .
43 Ces mots ont été écrits durant le deuxième confinement de la pandémie mondiale 2019-2021 du COVID-19.

Fig. 22. Capacités de la combinaison intégrale TeslaSuit (Image : site Internet TeslaSuit).

d'un masque chirurgical, également jetable, pour éviter les projections sur le casque lui-même lors de l'utilisation de la réalité virtuelle. Dans une moindre mesure, le casque est également en contact avec d'autres surfaces du crâne, porteuses également de potentiels germes. Dans ce contexte, échanger un casque entre plusieurs utilisateurs, lors d'une présentation dans un congrès par exemple, devient de plus en plus difficile.

Dispositifs sensoriels

L'étude de Christoph Anthes liste un troisième ensemble de dispositifs de sortie, permettant un retour sensoriel des interactions réalisées dans l'environnement virtuel. Ces retours sont principalement de quatre types : l'environnement sonore, l'environnement tactile sous la forme de vibrations, l'environnement olfactif et le vent.

Concernant l'environnement sonore, beaucoup de casques de réalité virtuelle incluent leurs propres écouteurs ou permettent de brancher des écouteurs tiers afin d'entendre cet environnement. Cette technologie éprouvée permet aujourd'hui un grand choix de dispositifs, de toute taille, de toute qualité et avec de nombreuses options de raccordement filaire ou non.

Les sensations tactiles peuvent être rendues à l'aide de bras à retour d'efforts par exemple, qui permettent de simuler la masse et l'inertie d'un objet déplacé en réalité virtuelle[44]. De nombreuses solutions s'orientent vers des vêtements spécifiques portés par l'utilisateur (comme des gants, ou des combinaisons complètes) qui permettent via des vibrations de ressentir dans les réalité les contacts réalisés par l'utilisateur dans la réalité virtuelle. Un exemple d'une telle solution est la combinaison intégrale TeslaSuit[45] (*Fig. 22*) qui se veut permettre de ressentir de simples contacts jusqu'aux sensations de fatigue physique et de température. Elle est présentée comme destinée à la formation des sportifs ou des professions intervenant en milieux difficiles (comme les pompiers), et permet également le tracking complet du mouvement de l'utilisateur de même que le suivi de données biométriques.

Enfin, des solutions permettent également de rendre compte de l'environnement olfactif suggéré dans la réalité virtuelle en diffusant au plus près du nez de l'utilisateur un mélange de plusieurs parfums de base. Par exemple, FeelReal[46] est un masque conçu pour s'adapter sous un casque de réalité virtuelle classique pour diffuser des odeurs à partir de neuf cartouches à insérer dans le dispositif, à partir

44 Laroche 2007, p. 126.
45 https://teslasuit.io .
46 https://feelreal.com .

Fig. 23. **Manette de HTC Vive Pro (Photo : Amazon).**

d'une sélection de 255 odeurs mises à disposition par le fabricant. Un logiciel spécifique permet ensuite de combiner ces odeurs et de les adapter aux situations en réalité virtuelle. Un ventilateur interne au dispositif permet également de simuler le vent et la température. Notons toutefois que la solution était annoncée en 2016 et qu'elle n'est toujours pas disponible à la vente en février 2021.

Dispositifs d'entrée

Toujours dans l'étude de Christoph Anthes, une distinction des dispositifs d'entrée en trois catégories a été effectuée. Elle permet de séparer les manettes (ou *controllers* en anglais) des dispositifs de navigation et des dispositifs de tracking[47]. Ces derniers permettent de restituer la position et la posture du corps dans l'espace, en plus de la position et de la direction de la tête de l'utilisateur, donnée essentielle à la simulation de l'environnement virtuel que nous avons évoquée précédemment.

Manettes

L'ensemble des dispositifs HMD du commerce est fourni avec des manettes qui permettent de manipuler des objets dans la réalité virtuelle (*Fig. 23*). Leur position est déterminée en temps réel dans l'espace, et des surfaces tactiles, des boutons ou des joysticks permettent de multiples interactions en immersion. La diversité des joysticks et donc des interfaces homme-machine nécessite une programmation astucieuse, passant par exemple par l'utilisation de logiciels intermédiaires chargé de gérer cette diversité, à l'image de Steam VR.

Les dispositifs SID peuvent s'appuyer sur ce type de manettes mais également sur l'utilisation de bras à retours d'efforts. Ceux-ci permettent à l'utilisateur, on l'a vu, d'avoir une idée de la force nécessaire au mouvement d'un objet, mais aussi d'in-

47 Anthes *et al.* 2016, p. 4

teragir avec les objets de l'environnement virtuel d'une manière réaliste. La société Haption[48] commercialise ainsi une gamme de bras à retour d'effort autorisant des forces maximales allant de 3 Newton jusqu'à 70 Newton (soit la simulation, pour simplifier, d'une masse de 300 grammes jusqu'à une masse de 7 kilogrammes).

De même que les casques de réalité virtuelle, les manettes doivent fait l'objet d'un soin particulier en matière d'hygiène. Elles sont en effet en contact avec les mains des utilisateurs. Par chance, les matériaux qui les composent permettent leur désinfection en utilisant un gel hydro-alcoolique bien qu'il faille veiller à bien désinfecter l'ensemble des surfaces, y compris les moins accessibles, en prenant garder à ne pas faire rentrer de liquide à l'intérieur.

Dispositifs de navigation

Si le déplacement naturel est pris en charge nativement par les dispositifs de réalité virtuelle, il est limité d'une part par la portée des capteurs et d'autre part par les dimensions de l'espace réel disponible. Par exemple, la simulation d'un sprint de 100 mètres en réalité virtuelle nécessite des capteurs opérant sur une telle distance et une zone de jeu de dimension similaire. Pour pallier ces difficultés, les dispositifs de navigation permettent à l'utilisateur de marcher ou de courir dans n'importe quelle direction, tout en restant au même emplacement. À la manière d'un tapis de marche ou de course, l'utilisateur réalise les mouvements, reste immobile, mais son avatar dans la réalité virtuelle se déplace.

La société Virtuix, par exemple, s'est spécialisée dans le développement et la commercialisation de tels dispositifs[49]. Leur système Omni One place l'utilisateur au centre d'un tapis concave où il peut marcher ou courir dans toutes les directions. Cette interface de navigation permet de supprimer les limites spatiales de l'espace virtuel dues aux limites de l'espace réel sans avoir recours à des métaphores comme la téléportation[50].

Dispositifs de tracking

Les dispositifs de tracking ou de motion capture (c'est-à-dire de capture et d'enregistrement du mouvement d'un utilisateur) ont été utilisés dans la production cinématographique, pour les effets spéciaux notamment, ou dans les jeux vidéo pour la création des cinématiques et des postures des avatars. Ils reposent principalement sur le positionnement de cibles à des points clés du corps, cibles dont la position est suivie dans l'espace par un dispositif optique[51], et qui permettent de reconstituer numériquement le déplacement ou la posture d'un utilisateur. Le TeslaSuit que nous avons précédemment évoqué permet également ce type de suivi de mouvement. Ce dernier impose à l'utilisateur de porter une combinaison ou la mise en place de capteurs sensibles qui peut paraître invasive.

Le suivi du mouvement des mains et des doigts peut être réalisé avec ce type de dispositif, sous la forme de gants. Cependant, le Leap Motion[52], par exemple, rend possible le suivi précis de la position des mains et des doigts de l'utilisateur dans l'espace, simplement grâce à l'analyse du signal produit par une caméra infrarouge. Les utilisateurs réalisent alors des gestes précis et naturels pour saisir des objets ou naviguer en réalité virtuelle sans avoir recours à une interface physique.

Tant ces dispositifs de navigation que ces dispositifs de tracking ne sont pas nativement pris en charge par les solutions de type HMD du grand public. Elles demandent le développement de plugins supplémentaires et donc une phase de test

48 https://www.haption.com .
49 https://www.virtuix.com .
50 Nous reviendrons sur le concept de téléportation en réalité virtuelle dans le chapitre 6.
51 Anthes *et al.* 2016, p. 8.
52 https://www.ultraleap.com/tracking/ .

plus poussée pour assurer la compatibilité des solutions développées avec ces interfaces physiques.

Concepts de l'immersion en réalité virtuelle

La réalité virtuelle recouvre des concepts et aspects différents selon que l'on considère le point de vue du grand public ou celui de la recherche, mais pour aller plus loin, nous devons adopter une définition que nous utiliserons dans la suite de cette thèse. Celle de Philippe Fuchs dans *Le Traité de la Réalité Virtuelle* fait encore autorité :

> La finalité de la réalité virtuelle est de permettre à une personne (ou à plusieurs) une activité sensori-motrice dans un monde artificiel, qui est soit imaginaire, soit symbolique, soit une simulation de certains aspects du monde réel[53].

L'auteur précise que le terme « sensori-motrice » doit rappeler que la réalité virtuelle suppose l'action physique, musculaire, de l'utilisateur. Pour réaliser une expérience de réalité virtuelle, il convient selon Philippe Fuchs de mettre en place cinq facteurs :

1. un matériel informatique capable de simuler un environnement ;
2. une interface (sensorielle ou motrice) permettant à l'utilisateur de voir et d'agir dans l'environnement ;
3. un monde virtuel interactif ;
4. une interactivité en en temps réel ;
5. une immersion la plus naturelle possible[54].

Les points un et deux ont été évoqués dans la partie précédente puisqu'ils ont trait avant tout à la question matérielle de l'accès à la réalité virtuelle. Pour les points trois, quatre et cinq nous allons les analyser en développant quatre thèmes : Interaction, Immersion et Présence, Réalisme et Avatars.

Interaction

L'intérêt de la réalité virtuelle réside dans sa capacité de permettre à l'utilisateur d'agir dans le monde virtuel[55]. Il est ainsi possible d'imaginer une gamme infinie d'interactions entre l'utilisateur et le monde virtuel, pour peu que ces interactions soient rendues possibles par le matériel d'accès à cette réalité virtuelle. Dans les jeux vidéo de type *First Personal Shooter* (Tireur à la première personne) joués en réalité virtuelle, par exemple *Half-Life: Alyx*[56], l'interaction avec le monde virtuel passe principalement par l'utilisation d'une arme visant à éliminer les ennemis du personnage qu'incarne l'utilisateur.

Dans le domaine de l'utilisation professionnelle de la réalité virtuelle, les interactions peuvent être extrêmement diverses : il peut s'agir d'interactions avec des outils mimant les outils réels pour simuler le montage de produits par exemple[57], d'interactions sociales avec des utilisateurs dans le cadre d'études de psychologie[58], ou d'interactions abstraites avec des ensembles de données[59].

53 Fuchs et Moreau 2003, p. 6.
54 *Ibid.*, p. 9.
55 *Ibid.*, p. 94.
56 https://www.half-life.com/fr/alyx/ .
57 Hutabarat *et al.* 2016 et Colley *et al.* 2015.
58 Riva 2009 et Bombari *et al.* 2015.
59 Lee *et al.* 2020.

Immersion et présence

La notion d'immersion est essentielle à la réalité virtuelle et l'on peut ainsi opposer les systèmes immersifs (comme un dispositif HMD) aux systèmes non immersifs[60] (comme un écran ou une souris) qui tous deux permettent pourtant l'accès à une réalité virtuelle au sens du continuum Réalité-Virtuel. Jean-Marie Burkhardt définit l'immersion comme :

> L'exposition de l'utilisateur à un Environnement Virtuel au moyen de dispositifs occupant en partie la perception (surtout visuelle) de l'environnement alentour, pour afficher en lieu et place une image du monde virtuel[61].

Il est donc évident que c'est le matériel permettant l'accès à la réalité virtuelle qui influe grandement sur cette notion d'immersion, par le biais de sa capacité à remplacer la vision et l'ouïe, principalement, du monde réel par celles produites par le monde virtuel. Nous utiliserons par la suite les termes « d'immersion en réalité virtuelle » pour parler de l'expérience faite par un utilisateur de la réalité virtuelle dans un dispositif de type HMD ou SID, pour bien la différencier de l'expérience de réalité virtuelle qui pourrait avoir lieu par le biais d'un écran d'ordinateur.

La notion de présence, quant à elle, est plus complexe que la simple dissimulation de l'environnement réel au profit d'un environnement virtuel. Elle consiste selon Kwan Min Lee dans un « état psychologique dans lequel la virtualité de l'expérience n'est pas remarquée »[62] ; à ce titre est elle importante pour faire disparaître, du moins en partie, les barrières à un comportement naturel dans l'environnement virtuel. Trois types de présence sont évoqués par l'auteur : *Physical Presence*, *Social Presence* et *Self Presence*. Le premier définit l'expérience d'un environnement spatial virtuel, le second l'expérience d'une entité virtuelle représentant un humain et le troisième l'expérience d'un autre soi (physiquement ou psychologiquement)[63].

Parmi les types de présence, la *Self Presence* recouvre également la notion de Embodiment, ou incarnation en français, par lequel un utilisateur projette l'idée qu'il se fait de son propre corps réel sur le corps virtuel qu'il occupe dans la réalité virtuelle[64]. Ces concepts participent donc au sentiment « d'être là » en réalité virtuelle comme si l'on était dans un environnement réel.

Simon Riches *et al.* ont mis en place dans une étude un protocole permettant d'établir les facteurs impactant ce facteur clé qu'est le sentiment de Présence en réalité virtuelle[65]. Les utilisateurs de cette étude, placés dans un environnement virtuel représentant une soirée dans un bar, devaient tenter de comprendre ce que les autres utilisateurs pensaient d'eux. Les facteurs identifiés comme ayant une incidence sur le sentiment de Présence vont des émotions des participants jusqu'à des facteurs externes comme le *Motion Sickness*. Ce dernier est dû à des signaux conflictuels reçus par le système nerveux depuis les yeux et l'oreille interne : il y a un décalage entre le mouvement réel de l'utilisateur et celui rendu par le système de réalité virtuelle[66]. Le *Motion Sickness* est ainsi responsable d'une diminution du sentiment de présence.

Cette même étude liste les restrictions du monde virtuel (dans les déplacements ou les actions possibles), le réalisme des interactions sociales, la courte durée des interactions (l'expérience de l'étude ne durait pas plus de cinq minutes), l'anxiété causée par l'apprentissage du matériel de réalité virtuelle ou enfin le manque de

60 Fuchs et Moreau 2003, p. 86.
61 *Ibid.*, p. 87.
Notons que cette définition est remise en cause au sein même du même ouvrage, p. 97 qui exhorte les lecteurs à ne pas se limiter au sens visuel dans la notion d'immersion.
62 Lee 2004, p. 32.
63 *Ibid.*, p. 41.
64 Gorisse *et al.* 2017.
65 Riches *et al.* 2019.
66 Patrão *et al.* 2015.

réalisme de l'environnement[67]. D'autres auteurs pointent également les expériences collaboratives, où plusieurs utilisateurs doivent ensemble résoudre des problèmes en réalité virtuelle, pour augmenter le sentiment de présence[68]. L'étude de Geoffroy Gorisse montre des résultats qui paraissent à première vue contre-intuitifs, à savoir que le sentiment de présence n'est pas impacté par une immersion menée à la première personne (la caméra est placée dans les yeux de l'avatar que l'utilisateur contrôle) ou à la troisième personne (la caméra suit l'avatar que l'utilisateur contrôle)[69].

Réalisme

Selon cette étude, le réalisme aurait donc une importance sur l'efficacité de l'immersion en réalité virtuelle. Si l'on en croit *Le Traité de Réalité Virtuelle*, la notion de réalisme est complexe et peut se définir comme une notion esthétique visant à rapprocher visuellement l'environnement virtuel de la réalité, une notion de simulation visant à rapprocher le fonctionnement d'un système (mécanique, mécatronique, physique, biologique) en réalité virtuelle de son fonctionnement en réalité, ou enfin comme une notion permettant de rapprocher l'expérience vécue d'une expérience réelle[70].

L'impact du réalisme sur le sentiment de présence est l'objet de plusieurs études qui sont loin d'apporter une réponse univoque à la question : le réalisme visuel augmente-t-il le sentiment de présence[71] ? Pour étudier cette question, Hvass *et al.* ont placé des utilisateurs dans deux environnements virtuels représentant la même scène (un intérieur d'appartement) qui ne se différenciaient que par le nombre de polygones et donc par la précision géométrique des objets virtuels. Les utilisateurs ont manifesté un plus haut degré de présence dans les scénarios avec l'environnement le plus détaillé, montrant l'influence de la précision géométrique et des facteurs qui en dépendent (réflexion, textures, ombres, etc.) sur le sentiment de présence[72].

Pour autant, le degré de réalisme nécessaire à l'immersion est fortement dépendant des activités auxquelles elle est destinée. Dans de nombreuses activités professionnelles, ce n'est pas le réalisme visuel qui est au cœur des préoccupations, mais le réalisme de simulation. Il suffit pour s'en convaincre d'évoquer par exemple les simulateurs aériens, qui reproduisent très fidèlement les propriétés physiques, dynamiques et systémiques d'un avion et de son environnement, sans pour autant chercher le réalisme visuel de l'environnement. Dans le domaine de la médecine, également, la revue systématique des usages des systèmes de réalité virtuelle en médecine dentaire par Tim Joda *et al.* montre que l'objectif de réalisme est celui des prédictions et du positionnement des éléments anatomiques :

> AR/VR-systems are beneficial, especially for pre-operative planning to provide realistic outcome predictions and intra-operative navigation to mitigate potential risks. Here, the overlaid images should be able to coincide three-dimensionally without any lag in real-time and with reliable accuracy and precision[73].

La représentation réaliste, plutôt que conceptuelle, permet toutefois aux utilisateurs de réaliser certaines tâches de manière plus naturelle en réalité virtuelle. Ferran Argelaguet *et al.* ont étudié l'impact de la représentation de la main de l'utilisateur dans la réalisation de plusieurs tâches, depuis une représentation conceptuelle (une sphère), simplifiée (un dessin représentant les cinq doigts) jusqu'à une représentation

67 Riches *et al.* 2019, p. 2-3.
68 Fribourg *et al.* 2018.
69 Gorisse *et al.* 2017.
70 Fuchs et Moreau 2003, p. 90.
71 Hvass *et al.* 2017.
72 *Ibid.*
73 Joda *et al.* 2019.

réaliste. Les opérations à réaliser consistaient à déplacer un objet ou la main d'une position à l'autre en évitant un obstacle formé par un cube, une flamme virtuelle ou une scie circulaire virtuelle[74]. L'étude montre que la représentation réaliste renforce la sensation de possession du corps virtuel par l'utilisateur réel qui a donc plus tendance à éviter les obstacles dangereux dans le monde virtuel.

Le degré de réalisme est donc une donnée à prendre en compte en fonction des attendus désirés d'une immersion en réalité virtuelle.

Avatars et personnages virtuels

Dans *Le Traité de la Réalité Virtuelle*, trois principaux types de personnages (ou d'animaux)virtuels dans la réalité virtuelle sont décrits :

— l'avatar, c'est-à-dire une représentation de l'utilisateur immergé dans l'environnement virtuel ;
— le personnage virtuel figuratif dans l'environnement virtuel ;
— le personnage virtuel qui va interagir avec l'utilisateur[75].

Sans aller plus loin, il paraît évident que les attendus en terme de modélisation, de réalisme (dans tous les sens du terme) et de fonctions sont très différents entre ces trois type de personnages virtuels. Tous sont néanmoins concernés par un concept spécifique de la modélisation de personnages virtuels, la notion de *Uncanny Valley*, ou Vallée de l'Étrange, théorisée par Masahiro Mori pour les robots et sujette depuis à plusieurs études dans le domaine de la réalité virtuelle[76]. L'idée développée dans cette théorie est que lorsqu'une représentation d'un humain (sous forme de robot ou de personnage virtuel) s'approche d'un certain degré de réalisme, elle devient alors source de malaise pour un humain. Augmenter ce degré de réalisme, ou le diminuer, fait baisser dans les deux cas la sensation de malaise, d'où la notion de vallée. Lorsque l'on s'approche d'une forme très réaliste de la représentation d'un humain, l'utilisateur réel va concentrer son attention sur les détails qui trahissent la nature synthétique de cette représentation : un regard fixe ou une chevelure immobile, par exemple[77].

Outre que la modélisation des avatars nécessite des savoir-faire spécifiques pour la réalisation des textures de peau ou de tissus, elle impose également de pouvoir générer des mouvements réalistes des membres. Cette phase dépend d'un processus appelé *rigging* qui consiste à associer aux polygones d'un avatar virtuel des os virtuels qui leur communique un mouvement. Le mouvement du modèle du personnage virtuel sera ainsi conforme à celui de l'utilisateur dans le cas d'un avatar, ou à celui de mouvements préenregistrés (dans le cas de personnages virtuels). La recherche est active dans le domaine de la création automatisée d'avatars à partir de personnes réels : Saifeng Ni *et al.* proposent une méthode permettant le rigging et l'animation automatique d'avatars à partir du Scan 3D d'une personne[78]. L'entreprise français Silkke[79] propose de permettre au grand public d'avoir son propre avatar grâce à un processus de numérisation dans une capsule de leur invention qui ne prend que dix secondes. L'avatar produit en quinze minutes à partir du scan, et ayant subi un processus de rigging automatique, peut être intégré dans des expériences de réalité virtuelle ou des vidéos. En 2018, par exemple, Renault proposait aux visiteurs du Salon de l'Automobile à Paris d'être numérisés puis intégrés dans une vidéo les plaçant en tant que conducteur de modèles emblématiques de la marque.

Outre la modélisation de l'aspect physique et des mouvements (qui peut suffire à des usages dans la modélisation de processus industriels, à l'urbanisme ou à la

74 Argelaguet *et al.* 2016.
75 Fuchs et Moreau 2009, p. 3.
76 Seyama et Nagayama 2007.
77 Fuchs et Moreau 2009, p. 7.
78 Ni *et al.* 2020.
79 https://silkke.com/ .

formation par exemple), la conception de personnages virtuels impose également la recréation d'un comportement social propre à l'humain et des interactions correspondantes[80].

Pistes de recherche en lien avec nos problématiques

Dans l'étude menée par Xiyao Wang *et al.* sur les freins à l'utilisation de la réalité virtuelle dans un contexte scientifique, les auteurs relèvent que malgré les avantages de l'utilisation de cette technologie pour la visualisation de données, l'interaction ou la simulation scientifiques, la réalité virtuelle demeure peu adoptée[81]. Si cette étude s'intéresse particulièrement à la visualisation immersive de données issues de simulations (comme des simulations de mécanique de fluides ou d'interactions de particules), elle tire néanmoins des conclusions qui nous semblent pertinentes dans d'autres domaines d'application. Quelles seraient les limitations à l'usage de ce dispositif selon cette étude ? La visualisation immersive nécessite non seulement un matériel qui est plus difficile à mettre en place et à calibrer qu'un ordinateur portable, mais aussi des modalités de visualisation spécifiques qui vont au-delà de la mise en volume d'un histogramme. De plus, les interactions avec les données dans un cadre scientifique doivent être précises et sont donc parfois plus rapides quand on utilise un clavier et une souris. L'utilisation de la réalité virtuelle implique donc de pouvoir proposer des façons d'interagir avec les données visualisées en complément d'une approche avec les outils traditionnels. Les auteurs prônent ainsi le développement de solutions limitant l'isolement de l'utilisateur (lors de l'utilisation de dispositifs immersifs), des outils qui soient aussi efficaces en réalité virtuelle que sur un ordinateur classique et compatibles entre eux, pour permettre des recherches collaboratives et l'accès à des données présentes sur des serveurs distants.

Parmi ces difficultés, plusieurs entrent particulièrement en résonance avec les besoins que nous avons identifiés lors de nos expériences préliminaires, mais deux sont purement du domaine de la réalité virtuelle : les possibilités d'interaction et de collaboration, et les outils d'analyse des données, au premier rang desquels l'annotation. Nous nous intéresserons donc à présent aux recherches actuelles dans ces deux domaines.

Interaction et collaboration

Les Environnement Virtuels Collaboratifs (EVC) sont des environnements virtuels dans lesquels plusieurs utilisateurs interagissent entre eux. La thèse de Christophe Domingues traitait en 2010 de cette question en proposant des modèles permettant l'évaluation de la performance de la collaboration de plusieurs utilisateurs dans un environnement virtuel[82]. L'enjeu des EVC réside dans la capacité à faire comprendre à chacun des utilisateurs qu'ils peuvent interagir entre eux et se coordonner via la réalité virtuelle. Depuis, d'autres travaux sont venus apporter des solutions aux problèmes posés par la collaboration de plusieurs utilisateurs dans un environnement virtuel.

Dans le cadre d'un processus de conception d'usine, Sebastian Pick *et al.* ont utilisé un environnement collaboratif permettant à plusieurs utilisateurs répartis sur plusieurs sites de collaborer en utilisant la réalité virtuelle[83]. L'originalité de leur proposition repose dans un processus de collaboration utilisant plusieurs dispositifs

80 Fuchs et Moreau 2009, p. 303.
81 Wang *et al.* 2019.
82 Domingues 2010.
83 Pick *et al.* 2014.

d'accès à la réalité virtuelle (CAVE, table à dessin virtuelle et dispositifs mobiles comme téléphones ou tablettes) au moyen du concept WYSIWIS (*What You See Is What I See*, Ce que tu vois est ce que je vois). Outre la communication sonore continue entre tous les utilisateurs, il est ainsi possible de partager le point de vue d'un utilisateur placé dans un CAVE avec un autre utilisateur possédant un autre dispositif de consultation : l'utilisateur immergé se saisit d'une tablette qu'il pointe vers ce qu'il souhaite annoter et partager avec ses collaborateurs. Une autre approche est le suivi en temps réel de la position et de l'orientation de la tête de l'utilisateur du CAVE, permettant d'en déduire les éléments qu'il regarde et de les indiquer aux autres utilisateurs. Cet exemple démontre la possibilité d'une immersion variable de différents participants à un Environnement Virtuel Collaboratif : puisqu'un seul utilisateur est à proprement parler immergé dans la réalité virtuelle.

Des approches entièrement basées sur l'immersion virtuelle de l'ensemble des participants à la collaboration existent également. Elles permettent à plusieurs ordinateurs clients de se connecter à un même serveur et donc de collaborer pour la réalisation de certaines tâches. La difficulté de la collaboration consiste à pouvoir identifier ce que fait le collaborateur, ce qu'il perçoit et ce qu'il touche. Le CoVAR de Thammathip Piumsomboon *et al.* rend possible par exemple de visualiser le cône de vision des autres utilisateurs de la réalité virtuelle[84] permettant d'augmenter la perception par un utilisateur de ses collaborateurs. La proposition de Shubham Singh *et al.* quant à elle permet à des utilisateurs utilisant la réalité augmentée en plus de l'immersion en réalité virtuelle de collaborer pour la réalisation d'un projet à l'échelle urbaine : les premiers étant physiquement présents sur un site de projet et localisés grâce au GPS, tandis que les seconds sont présents dans une maquette numérique du même site[85]. Tzong-Hann Wu *et al.* mettent quant à eux en place un ensemble d'outils de communication entre les utilisateurs, permettant une collaboration autour d'une maquette numérique BIM (*Building Information Model*, liant les données géométriques avec des informations sur les objets représentés)[86]. Les outils de communication permettent par exemple d'inviter les autres utilisateurs à un point de la maquette numérique, de pointer un élément, de discuter en utilisant le texte et l'audio, de partager son point de vue *via* WYSIWIS et d'annoter l'environnement.

Enfin, Tomás Dorta propose une alternative complètement différente à la collaboration en réalité virtuelle grâce à l'utilisation du Hyve-3D[87]. La proposition s'inscrit en contrepoints des propositions traditionnelles de collaboration en réalité virtuelle, en partant de deux postulats : d'une part le format numérique n'est pas le plus adapté à la conception (contrairement au croquis à main levée) ; d'autre part la présence physique et la discussion directe autour d'un même objet est la manière la plus efficace de co-concevoir. La proposition technologique consiste donc, en plus du dispositif SID spécifique au Hyve-3D que nous avons évoqué, à pratiquer le dessin collaboratif via une ou plusieurs tablettes numériques sur lesquelles le dessin à main levée dans le modèle 3D est possible. Pour cela, l'utilisateur doit sélectionner un plan de dessin dans l'espace en orientant sa tablette pour désigner ce plan, puis dessiner sur la tablette. De proche en proche, il est ainsi capable de définir des volumes dans l'espace sans le recours aux géométries standardisées des logiciels de Conception Assistée par Ordinateur. Cette conception peut se faire à plusieurs échelles, les utilisateurs étant immergés à l'échelle 1 ou autour d'un modèle réduit de la réalité.

On le voit, la collaboration en réalité virtuelle peut prendre plusieurs formes qui vont d'une collaboration principalement dans le monde physique, au même endroit, à une collaboration complète dans la réalité virtuelle, les utilisateurs étant potentiel-

84 Piumsomboon *et al.* 2017.
85 Singh *et al.* 2020.
86 Wu *et al.* 2019.
87 Dorta *et al.* 2019.

lement séparés de milliers de kilomètres. Dans tous les cas, un principe de collaboration essentiel reste la communication, et parmi les outils de communication figure en bonne place l'annotation.

Annotation

La problématique de l'annotation de modèles ou de données en trois dimensions ne date pas d'hier. Elle consiste à ajouter des informations sur le modèle tridimensionnel, qui peuvent être un simple texte ou des données multimédia. En 1996 déjà Reid Harmon et son équipe proposaient une solution d'annotation en se basant sur le constat suivant[88] : les dispositifs traditionnels d'entrée pour un ordinateur que sont le clavier ou la souris sont inefficaces en réalité virtuelle et l'affichage de texte y est malaisé[89]. Dès lors, les auteurs imaginent un système d'annotation basé sur le son : l'utilisateur peut enregistrer un commentaire audio qui peut ensuite être rejoué, effacé ou lui-même annoté. Deux éléments peuvent être annotés : des objets ou des points de vue. Pour les premiers, la note audio est attachée à un objet de la scène et signalée à l'utilisateur par une icône spécifique qui permet de la rejouer. Pour les seconds, une icône est placée à l'emplacement et dans la direction de l'utilisateur lors de l'enregistrement de la note audio. Proposée en 1996, cette solution a d'autant plus de sens aujourd'hui que les avancées en intelligence artificielle rendent possible la transcription automatique et instantanée d'un commentaire audio en texte, un concept datant également du début des années 1990[90].

La proposition de João Guerreiro *et al.* tente également d'aller plus loin que la métaphore traditionnelle du Post-It contenant du texte utilisée en réalité virtuelle[91]. Elle tente de permettre l'accès à des contenus multimédias riches et structurés dans les annotations lors de l'immersion dans des dispositifs SID. Si l'ajout de texte ou d'audio à un objet ou à un point du modèle est possible, cela ne résout pas le problème des situations où le commentaire est effectué sur un élément de modèle qui n'est révélé que par un point de vue ou par une succession de points de vue (un déplacement). La solution permet donc l'enregistrement du mouvement de la caméra et de l'audio pour partager avec d'autres utilisateurs un point de vue de manière dynamique et les commentaires correspondants. Simultanément, l'historique du dessin de croquis par l'utilisateur, sur la tablette qu'il tient à la main dans l'environnement virtuel, est également enregistré. En plus de ces éléments enregistrés, la proposition scientifique des auteurs vise à placer ces annotations dans un système d'information avec métadonnées, permettant la structuration de l'ensemble des annotations et la distinction d'éventuelles filiations entre elles. Il est ainsi possible de classer ces interventions selon les problèmes qu'elles essaient de résoudre, les utilisateurs ayant la possibilité d'ajouter des commentaires à des annotations. La position des annotations est signalée dans l'espace virtuel par la présence d'une bulle de bande dessinée.

D'autres méthodes d'annotation sont possibles. Damien Clergeaud et Pascal Guitton, par exemple, se sont intéressés aux méthodes traditionnelles d'annotation avant la réalité virtuelle pour bâtir leur solution[92]. Dans ce contexte, l'annotation sur l'environnement lui-même (laisser une pancarte, par exemple) permet de communiquer des informations aux prochains visiteurs, tandis que l'annotation sur un carnet de notes permet de conserver des informations pour soi. C'est ce second type d'annotation que les auteurs souhaitent pouvoir transcrire en réalité virtuelle. L'utilisateur possède donc, dans l'environnement virtuel, un document qu'il peut annoter ou dans lequel il peut ajouter du texte via un clavier virtuel ou des images grâce à

88 Harmon *et al.* 1996.

89 La raison invoquée en 1996 est celle de la faible résolution de l'image (720*480 pixels) qui ne permet pas une lecture aisée du texte. Nous verrons, au chapitre VI que ce problème est toujours présent en 2021.

90 Ljolje et Riley 1991.

91 Guerreiro *et al.* 2014.

92 Clergeaud et Guitton 2017.

la possibilité de réaliser des instantanés de ce qu'il voit. Le contenu de ce fichier est transformé en un fichier au format Microsoft Word que les utilisateurs peuvent ensuite récupérer et utiliser sur un ordinateur en dehors de la réalité virtuelle. Pour pousser encore plus loin la métaphore du carnet de notes, la proposition consiste à faire correspondre au carnet de note de la réalité virtuelle, toujours à portée virtuelle de main de l'utilisateur, un objet de forme similaire dans le monde réel et au même emplacement. L'utilisateur peut donc physiquement saisir cet objet afin de réaliser une note.

L'interface par laquelle les annotations sont non seulement réalisées mais aussi consultées est également un objet de recherche, de même que les quantités d'informations qu'elles contiennent. Dans le cas particulier des annotations permettant le déplacement en réalité virtuelle, James Dominic et Andrew Robb ont proposé une étude permettant de juger de la pertinence d'annotations dont la position serait fixe par rapport à l'utilisateur par rapport à des annotations dont la position serait fixe dans l'espace[93]. Le premier type permet d'assurer une lisibilité et une visibilité optimale de l'information affichée, tandis que le second permet une identification rapide de l'objet auquel s'applique l'information. Les participants à l'étude menée par les auteurs devaient accomplir une tâche de navigation spatiale, guidés par les deux types d'annotation avec chacun trois possibilités de niveau de complexité de l'information. L'étude montre que dans le cadre de la navigation, l'annotation fixe dans l'environnement permet aux utilisateurs de se repérer plus facilement. Elle montre également comment la complexité de l'information affichée peut avoir un impact déterminant sur la performance des utilisateurs dans l'environnement virtuel[94].

Nous avons pu examiner, dans ce bref tour d'horizon des technologies, des concepts et des pistes de recherche en lien avec notre thématique, certains points clés de la réalité virtuelle. Il s'agit d'un domaine en plein développement à l'intersection des sciences de l'information, de l'informatique, des sciences de l'ingénieur et même de la médecine. Il convient maintenant d'étudier si, et dans quelles conditions, la recherche dans le patrimoine a pu se saisir de ces technologies.

93 Dominic et Robb 2020.

94 Nous montrerons au chapitre VI qu'une autre voie est possible pour l'annotation, permettant de capitaliser les avantages des deux méthodes de positionnement.

Numérisation, modélisation et visualisation 3D pour la recherche

La réalité virtuelle immersive, quelle que soit la technologie utilisée, est devenue un outil mature dont l'usage gagne à la fois le grand public, notamment grâce au jeu vidéo, et le monde professionnel. Elle repose sur l'existence de données nativement tridimensionnelles (un « espace virtuel », par exemple) ou de données qui peuvent être visualisées en trois dimensions (comme des données statistiques). Pour pouvoir mieux cerner les usages de la réalité virtuelle dans le domaine qui nous occupe, à savoir le patrimoine au sens large, qui recouvre l'histoire et l'archéologie, nous devons prendre connaissances des travaux en cours concernant la production de ces données tridimensionnelles. À ce titre, nous pouvons nous appuyer sur la représentation proposée par la Consortium 3D de la Très Grande Infrastructure de Recherche Huma-Num (TGIR Huma-Num) de la production des données 3D[95] (*Fig. 24*). La plupart de ces données est issue d'un processus de numérisation de l'existant, des données nativement 3D, domaine dans lequel des avancées majeures ont été réalisées durant la dernière décennie ; nous les détaillerons dans une première partie.

La création d'hypothèses de restitution patrimoniale est une autre voie de production de données nativement tridimensionnelles. La restitution, est, on l'a vu, un processus qui s'inscrit dans la longue histoire de l'archéologie et de l'architecture mais qui a pu profiter directement des possibilités offertes par la numérisation de ces métiers avec la disponibilité d'outils numériques performants et innovants depuis les années 1990. Dès lors, la création, la visualisation et la critique d'hypothèses ont pu profiter directement de l'usage de la réalité virtuelle, ce que nous constaterons dans une seconde partie.

La recherche dans le patrimoine manipule également de nombreuses données qui ne sont pas tridimensionnelles : concepts, dates, biographies, événements sont en effet étrangers, *a priori*, à l'espace. Pourtant, de nombreuses recherches s'attèlent à rendre manipulables et à représenter ces informations, soit pour les rendre plus compréhensibles, soit pour permettre de les relier à des données tridimensionnelles. Ce sont ces recherches que nous parcourrons dans une troisième partie.

Enfin, dans une quatrième partie, nous verrons comment la question de la représentation et de la visualisation et de la valorisation de ces données fait l'objet de propositions scientifiques diverses. Celles-ci s'attachent en effet à répondre aux préoccupations causées par l'incomplétude des données, leur incertitude ou leur diversité, qu'elles soient représentées dans une illustration d'un article scientifique où dans un environnement virtuel immersif.

Numérisation

Le *Livre Blanc* du Consortium 3D liste cinq grands types de relevés capables de produire des données tridimensionnelles : la photogrammétrie, la lasergrammétrie, la topographie, la tomographie et la captation sonore[96]. Bien que le son soit une donnée liée à la 3D, son acquisition et sa restitution nécessitent des outils et des méthodes qui sont complètement différents de ceux utilisés pour les objets physiques tangibles ; nous ne nous attarderons pas sur ce type de données[97]. De même, nous

95 Consortium 3D 2017, p. 14.
96 *Ibid.*, p. 15-16.
97 L'acquisition de telles données est aujourd'hui à l'œuvre sur le chantier de la Cathédrale Notre-Dame de Paris par Mylène Pardoen et Brian Katz. Voir par exemple Galanopoulo 2019.

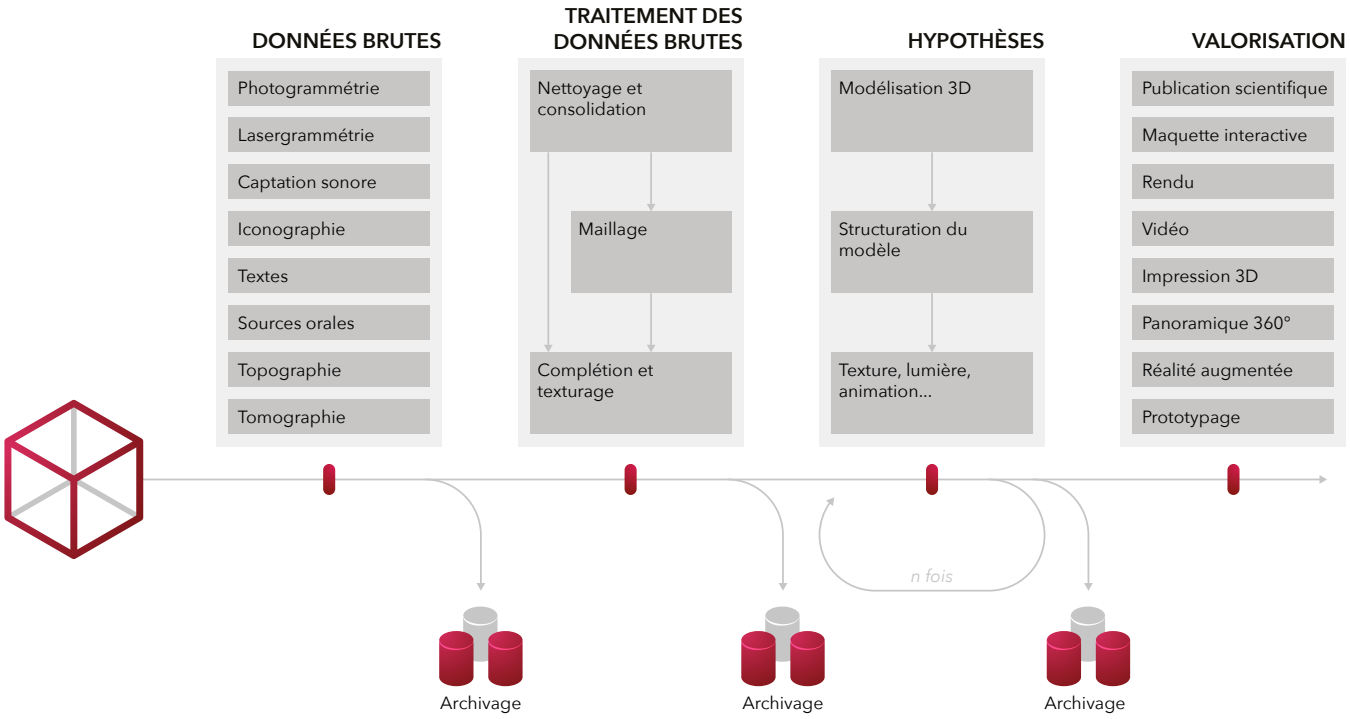


Fig. 24. **Processus de conception des données 3D dans les Sciences Humaines et Sociales d'après le Consortium 3D.**

regroupons la topographie et la tomographie au sein des méthodes d'acquisition de géomatique, géophysique et de tomographie.

Acquisition des données

Photogrammétrie

La photogrammétrie est définie dans le Livre Blanc du Consortium 3D comme une méthode permettant :

> […] la mesure d'un objet par l'étude de sa reproduction en perspective, généralement à l'aide de photographies ou d'images numériques. […] Cette technique se fonde sur le principe de corrélation d'images, acquises selon des points de vue différents, qui permet la reconnaissance automatique de points homologues. Elle repose entièrement sur une modélisation rigoureuse de la géométrie des images et de leur acquisition afin de reconstituer une copie 3D exacte de la réalité[98].

L'intérêt de cette méthode réside dans sa grande facilité d'exécution sur le terrain, puisqu'elle ne nécessite que le recours à un appareil photo numérique pour produire un nombre suffisant de clichés de l'objet à numériser. La plus grande partie du travail s'effectue en effet en laboratoire sur un poste informatique et donc en dehors des contraintes du terrain.

Cette méthode est adaptée à des objets d'échelles très diverses. Samantha Thi Porter, Morgan Roussel et Marie Soressi ont notamment utilisé cette méthode pour la numérisation d'échantillons lithiques du paléolithique[99]. Cette expérience a néanmoins nécessité la mise en place d'un dispositif spécifique permettant l'éclairage dans de bonnes conditions des échantillons : ceux-ci sont alors placés sur une plaque tournante, tandis que l'appareil photo est placé sur un trépied fixe dans un environnement à l'éclairage contrôlé. Dans ces conditions, et en utilisant un revêtement de

98 *Ibid.*, p. 15.
99 Thi Porter *et al.* 2016.

talc pour limiter les reflets à la surface des matériaux numérisés, les relevés photogrammétriques produits par l'équipe de recherche sont d'une précision supérieure à ceux réalisés au scanner laser et au scanner à lumière structurée. Alors qu'ils appellent à une plus grande implication mutuelle des domaines de l'archéologie et des sciences numériques pour le développement de solutions, les auteurs pointent l'intérêt de l'utilisation de la photogrammétrie dans son état actuel :

> As a method of 3D registration, photogrammetry has the benefits of being affordable, reliable, and better adapted for use in adverse field conditions and when collection access time is limited[100].

Pour la numérisation d'objet de faibles dimensions, la photogrammétrie garde donc toute sa place, d'autant qu'il est possible de la coupler à des techniques photographiques poussées. La thèse de Mariam Samaan[101], par exemple, explore de nouveaux moyens d'obtenir des relevés précis d'objets de dimensions réduites ou dans des conditions difficiles. Ces travaux explorent tour à tour l'usage de la vidéo pour la production d'un modèle tridimensionnel (méthode qui a depuis été utilisée pour la numérisation d'objets à grande échelle à partir de films anciens[102], ou à partir de captations numériques récentes[103]), l'utilisation de la macrophotographie, l'utilisation d'objectifs *tilt-shift*[104] ou l'éclairage rasant[105]. Ensemble, ces nouvelles méthodes permettent de repousser les limites de l'usage de la photogrammétrie.

Outre des objets de faible dimension, la photogrammétrie permet également de numériser des ensembles de monuments de dimension variable. Cette technique peut maintenant être envisagée pour la numérisation massive d'ensemble monumentaux. Martina Attenni, Cristiana Bartolomei, Michael Hess et Alfonso Ippolito ont ainsi sélectionné la photogrammétrie pour effectuer le relevé des éléments d'architecture de la Villa Borghese à Rome[106], de dimensions très variables. Cette technique d'acquisition a été choisie par les auteurs en raison de sa capacité à s'accommoder d'éléments allant du kilomètre au micromètre[107]. Elle permet en outre, et contrairement au relevé laser, l'utilisation des images du relevé photo pour produire des textures photoréalistes à haute résolution.

À une échelle encore plus grande, cette technique a été utilisée sur des sites archéologiques entiers. La société ICONEM[108] a notamment participé à la numérisation des monuments détruits par l'État Islamique en Syrie et en Irak (Palmyre, Alep, Moussoul). Ces relevés, réalisés au gré des reculs et reprises de terrain des soldats de l'État Islamique ont rendu possible notamment la comparaison de l'état de certains des monuments emblématiques de Palmyre avant et après les campagnes de destructions opérées par Daesh. L'utilisation d'un matériel peu coûteux, ou qui puisse être commandé à distance en terrain hostile (ICONEM a en effet utilisé des drones commandés à longue distance pour certains relevés) est un des avantages de la photogrammétrie[109]. Avec les modèles produits, on peut envisager des remontages virtuels, puis réels, des monuments détruits[110] à grand renfort d'explosifs, tandis que les modèles eux-mêmes ont fait l'objet d'une exposition au grand public à l'Institut du Monde Arabe du 10 octobre 2018 au 10 février 2019, permettant au grand pu-

100 Thi Porter *et al.* 2016, p. 83.
101 Samaan 2016.
102 Condorelli et Rinaudo 2019.
103 Voir les travaux réalisés sur la modélisation du Pic du Midi à partir d'un hélicoptère, dans Jeanson 2020.
104 Les objectifs *tilt-shift* ou en français objectifs à bascule et décentrement permettent de limiter la déformation des objets à l'image.
105 Samaan 2016, p. 127.
106 Attenni *et al.* 2017.
107 *Ibid.*, p. 62.
108 http://iconem.com/fr/
109 Alichoran *et al.* 2018, p. 14-17.
110 *Ibid.*, p. 76-77.

Fig. 25. Exposition *Cités Millénaires* à l'Institut du Monde Arabe à Paris (Photo : Katatsu Nuri No Yume).

blic de s'immerger dans les nuages de points produits par le processus photogrammétrique (*Fig. 25*).

Enfin, à très grand échelle, la photogrammétrie peut également être utilisée pour l'analyse de sites entiers et du paysage qui l'entoure. L'analyse des photographies aériennes est d'ailleurs historiquement le premier usage de cette technique. L'équipe de Konsantinos Nikolakopoulos, en Grèce, s'est attachée à comparer les résultats produits par la photogrammétrie en utilisant des images aériennes (issues des couvertures photographiques du territoire par l'armée grecque en 1994), et celles produites par un relevé par un drone commercial semi-professionnel, le DJI Phantom 3 Advanced[111]. Les conclusions de ces recherches sont sans appel et mettent en évidence la supériorité du modèle produit à la suite de la couverture au drone. L'intérêt de l'usage de photographies aériennes, voir d'images satellite, résulte toutefois dans l'étendue très supérieure de terrain que celles-ci recouvrent.

Lasergrammétrie, tomographie et lumière structurée

Nous plaçons ensemble la lasergrammétrie, la tomographie et le relevé à la lumière structurée puisqu'ils font partie des méthodes de relevé actif sans contact[112]. Elles sont celles que nous avons le plus souvent rencontrées dans la production de données tridimensionnelles patrimoniales en dehors de la photogrammétrie. Le Livre Blanc du Consortium 3D définit la lasergrammétrie comme suit :

> La lasergrammétrie, ou levé laser, utilise les propriétés d'un faisceau laser renvoyé vers son émetteur. Le levé laser est aussi connu sous le nom de « LiDAR », qui est l'acronyme de « Light Detection and Ranging ». Les relevés laser permettent, sans contact d'objet, d'obtenir en temps réel un nuage de points en 3D de l'objet mesuré. Chaque point scanné est immédiatement connu en coordonnées relatives. Cette technique apporte un gain de précision dans les mesures tout en offrant rapidement de nouvelles perspectives de résultats et de valorisation[113].

La tomographie est définie dans le même ouvrage ainsi :

111 Nikolakopoulos *et al.* 2017.
112 Laroche 2007, p. 94.
113 Consortium 3D 2017, p. 16.

> Technique d'imagerie radiologique permettant de reconstruire artificiellement le volume d'un objet à partir d'une série de mesures effectuées par tranches depuis l'extérieur de cet objet[114].

Pour la lumière structurée, nous nous appuyons sur la description donnée par Florent Laroche d'une technique qui :

> […] s'appuie sur la projection d'une grille régulière de lumière, sous la forme d'un réseau de franges sur lequel on calcule les coordonnées par triangulation[115].

Le procédé de scan laser permet l'obtention du nuage de points correspondant à l'ensemble des surfaces visibles qui entourent le scanner. Dans la plupart des situations réelles, il est donc nécessaire de réaliser plusieurs scans depuis plusieurs positions pour éviter les angles morts. Pour la numérisation du Cénacle de Jérusalem, par exemple, Sorin Hermon et Hamudi Khalaidy ont commencé par établir un plan d'acquisition et donc prévoir avec précision l'emplacement des stations de relevé pour limiter les angles morts[116]. La numérisation de ce type de pièces produit des nuages de points denses et lourds (plusieurs gigaoctets) qui nécessitent le recours à une simplification pour pouvoir être manipulés simplement. Si les scanners laser permettent aujourd'hui d'obtenir en plus de la position du point la couleur de celui-ci, Hermon et Khalaidy notent le besoin de techniques d'illumination afin d'obtenir des informations de couleur utiles et fiables, ce qui complique la phase d'acquisition. Ils notent également l'intérêt de ce type de données 3D :

> The visualization analysis can reveal emerging patterns otherwise obscured, new aspects of data or can virtually create views impossible in the real world[117].

Dans leur étude précédemment citée, Martina Attenni *et al.* insistent également sur la nécessité de prévoir en amont la position et le plan de numérisation en utilisant un scanner laser[118]. Leur utilisation du laser scanner a été privilégiée dans la numérisation du Labyrinthe de Satunsat, dont les faibles conditions d'éclairage et la complexité des structures internes à numériser ont plaidé en faveur de cette technique d'acquisition. Notons toutefois que les auteurs s'empressent d'utiliser les données tridimensionnelles enregistrées pour produire des documents en deux dimensions, ce qui, d'une certaine manière, ampute très fortement le potentiel de ces données :

> Five billion points dataset can be manipulated in a way to extract thin slices of point that render what amounts to section cuts of the structure[119].

À une échelle beaucoup plus importante, le laser dans son procédé LiDAR (*Laser Detection and Ranging*) est également utilisé pour la production de données tridimensionnelles décrivant un territoire. L'intérêt de cette méthode réside dans sa capacité à permettre la détection du sol sous la couche de végétation, ce que ne permet pas l'utilisation de la photo aérienne. Le LiDAR est donc particulièrement utilisé dans les zones archéologiques en forêt dense, que ce soit en Amérique Latine ou dans les forêts européennes[120]. En terrain non couvert par la végétation, Justin Vilbig, Vasit Sagan et Christopher Bodine ont cependant montré que le LiDAR produisait

114 *Ibid.*, p. 16.
115 Laroche 2007, p. 95.
116 Hermon *et al.* 2013, p. 360.
117 *Ibid.*, p. 361.
118 Attenni *et al.* 2017, p. 67.
119 *Ibid.*, p. 68.
120 Vilbig *et al.* 2020.

des résultats dont la précision était comparable à celle de la photogrammétrie au drone[121], à un prix nettement supérieur.

Florent Laroche a utilisé le scanner à main à lumière structurée pour effectuer la numérisation complète de la maquette de Nantes en 1900 conservée au Musée de la Ville de Nantes (Château des Ducs de Bretagne)[122]. De grande échelle (la maquette mesure 9 m par 1,8 m), la maquette est néanmoins pleine de très nombreux détails, et le recours à cette technique permet à l'opérateur de bien s'assurer que l'ensemble de ces détails sont numérisés. Il est en effet possible de visualiser, sur ordinateur et de manière simultanée, les zones de la maquette qui ont bien été numérisées, l'opérateur pouvant ainsi ajuster en temps réel son processus de numérisation.

Concernant la tomographie, l'étude menée par Théophane Nicolas sur des objets archéologiques montre les potentiels de cette méthode issue de l'imagerie médicale[123]. L'intérêt est de pouvoir visualiser le contenu de certains objets, comme des urnes funéraires par exemple, sans avoir à les ouvrir : en reconstruisant la troisième dimension à partir des différents plans obtenus avec cette méthode, il est possible de séparer les objets en fonction de leur densité respective. L'auteur couple cette méthode avec celle de l'impression 3D, on peut ainsi obtenir physiquement les objets à l'intérieur de l'urne sans ne l'avoir jamais ouverte. Utilisée sur des objets de petite dimension, cette méthode doit être adaptée pour servir à la numérisation d'éléments de très grande échelle : les différentes expériences réalisées sur la Pyramide de Khéops à Gizeh en Égypte en sont le reflet. L'utilisation des muons cosmiques, des particules élémentaires, pour tenter de comprendre la structure interne de la pyramide[124] n'a produit à ce jour aucun résultat qui fasse consensus dans la communauté scientifique.

Données géomatiques, géophysiques

Le relevé topographique du terrain est pratiqué depuis longtemps par les archéologues pour la mise en place des différentes altitudes d'un site archéologique. Le Livre Blanc du Consortium 3D le définit comme suit :

> Technique de représentation sur un plan des formes du terrain, avec les détails des éléments naturels ou artificiels qu'il porte, afin de déterminer la position et l'altitude de n'importe quel point situé dans une zone donnée. Les outils les plus souvent utilisés pour effectuer un relevé topographique sont la station totale ou tachéomètre, le positionnement par satellites (GPS) ou encore le télémètre laser[125].

En prenant l'altitude et la position de suffisamment de points du terrain, il est possible de modéliser, en utilisant des Systèmes d'Information Géographique (SIG), la forme du sol en trois dimensions. Cela passe traditionnellement par la production du Modèle Numérique de Terrain (MNT, ou *Digital Elevation Model* DEM en anglais).

Les méthodes géophysiques sont également de plus en plus utilisées en archéologies. Elles permettent d'avoir des informations sur les couches superficielles enfouies du sol simplement en passant un capteur à la surface de celui-ci. Dans de bonnes conditions, on peut ainsi une image des structures (fondations de bâtiments par exemple) qui permet une première identification des vestiges. Cette méthode a notamment été utilisée en Syrie pour l'identification d'un type d'urbanisme circulaire[126], sans toutefois la production de données tridimensionnelles : les documents produits par ce type de relevé sont en effet des cartes en deux dimensions. Malgré

121 Vilbig *et al.* 2020.
122 Laroche *et al.* 2011.
123 Nicolas *et al.* 2016.
124 Procureur 2019.
125 Consortium 3D 2017, p. 16.
126 Gondet et Castel 2004.

cela, l'équipe d'Albert Sierra a entrepris la restitution en trois dimensions de la cité d'Ullastret, en Espagne, à partir d'une telle prospection géophysique[127].

Modélisation automatique à partir de nuages de points et BIM

Les techniques d'acquisition précédentes produisent des nuages de points qui ne sont ni structurés ni enrichis de manière sémantique : il est par exemple impossible d'y déplacer un objet ou de faire une recherche permettant d'afficher toutes les portes. Or, la structuration et l'enrichissement des modèles 3D sont aujourd'hui en passe de devenir la norme dans la production architecturale avec une technologie et une méthode nommée *Building Information Model* (BIM).

En 2013, Noura Hichri et l'équipe du MAP de Marseille dressaient déjà les différentes approches permettant la sémantisation de nuages de points, basée principalement sur la reconnaissance de formes et de primitives, c'est-à-dire de volumes simples dont la composition géométrique permet la création de volumes de forme complexe, dans le nuage[128]. Les auteurs relèvent que si les procédés mis en place à l'époque sont bien adaptés à des structures contemporaines, aux formes simples et non altérées par le temps, elles ne sont pas adaptées à la modélisation d'éléments historiques ou archéologiques. La proposition finale de ces auteurs est donc d'ajouter de la sémantisation dès la phase de numérisation, ce qui mène à un ensemble de procédés d'annotation lors de la photogrammétrie.

En 2020, Fabrizio Banfi montre l'usage de techniques avancées de modélisation de géométries 3D avec des NURBS (B-Spline Rationelles Non Uniformes, des surfaces paramétrées par des équations dans l'espace) à partir de nuages de points sur des sites archéologiques[129]. Si une partie de cette modélisation peut être réalisée automatiquement, les surfaces complexes doivent toujours être modélisées par un opérateur à partir du nuage de points issu de la numérisation. Cette méthode permet de créer des objets H-BIM (*Heritage-BIM*) sémantisés et structurés pour les unités stratigraphiques (US), les zones de destructions, les unités stratigraphiques construites (USC) ou les éléments architecturaux et structuraux.

Puisqu'il n'existe pas aujourd'hui de processus automatique pour transformer un nuage de points en un modèle BIM facilitant l'étude et l'usage du patrimoine (dans le cas de bâtiments anciens ayant gardé une utilisation, par exemple), certaines sociétés permettent la réalisation de ce travail. C'est notamment le cas de A-BIME[130] qui réalise des maquettes numériques sur la base du relevé de bâtiments anciens, ce que l'on nomme BIM « as-built »[131].

Annotation et photogrammétrie

Comme le précise Noura Hichri, un des moyens de contourner les limitations de la sémantisation d'un nuage de points est de réaliser une phase d'annotation dès l'acquisition de données 3D.

Il peut s'agir par exemple de dessiner le contour des pierres d'un édifice (pour permettre de produire un relevé de façade, document essentiel à l'archéologie du bâti) sur une photo, contour qui peut être calculé automatiquement puis projeté grâce à des calculs informatiques, sur le modèle 3D lui-même. Le contour de la pierre est ainsi positionné dans l'espace[132].

La thèse d'Adeline Manuel[133] a notamment permis la mise en place d'un système d'annotation en trois dimensions sur la base de l'annotation de photographies : Aïo-

127 Sierra *et al.* 2017.
128 Hichri *et al.* 2013a.
129 Banfi 2020.
130 https://www.a-bime.com/
131 Hichri *et al.* 2013b.
132 Drap *et al.* 2007.
133 Manuel 2016.

li. La plateforme est aujourd'hui opérationnelle et disponible en ligne[134]. L'idée est d'annoter une photographie et, celle-ci étant projetée sur le modèle 3D, d'annoter par répercussion le modèle 3D lui-même. Cela permet donc d'ajouter du sens (sémantisation) dans le but de la description et de l'analyse d'un objet ou d'un monument. L'intérêt du système est qu'il est plus précis que les méthodes automatiques et semi-automatiques tout en limitant le nombre de manipulation à réaliser par un opérateur[135].

Stockage et partage des données

La production de ces données issues de la numérisation, de même que l'ensemble de la production des données tridimensionnelles, imposent de s'interroger sur les moyens d'accès et de stockage de ces données. Erik Champion et Hafizur Rahamn voient dans les plateformes de sauvegarde deux tâches principales, qui ne sont pas toujours conciliables : conserver une copie authentifiée des données numériques et permettre la médiation de ces données numériques[136]. Les auteurs relèvent dans un premier temps que malgré l'offre technologique, les modèles 3D restent passablement absents des publications scientifiques qui s'appuient pourtant sur ces données :

> Despite some recent attempts, Virtual Heritage models are still not commonly accessed via online publications. Realizing the need to reference 3D data in an academic publication, a few publishers have started to provide viewable 3D content in online publications[137].

Le recours à un DOI, *Digital Object Identifier*, est une des conditions principales à la dissémination de ce type de modèle dans le monde académique, les modèles ayant alors le même type d'*Identifier* que les articles scientifiques eux-mêmes. Les auteurs de cette étude ont passé au crible soixante solutions de stockage et de visualisation des données 3D, en identifiant parmi elles celles qui permettaient les opérations de visualisation de base (déplacement, tourner autour de l'objet, visualiser des textures, etc.), les formats supportés, l'affectation d'un DOI, etc. Parmi les solutions expérimentées, une seule permettait l'attribution d'un identifiant DOI aux objets 3D : Europeana[138].

En France, la TGIR Huma-Num a mis en place le Conservatoire National des Données 3D qui permet l'archivage pérenne, et non la consultation, des données 3D issues de la numérisation ou de la restitution historique ou archéologique sur les serveurs du CINES (Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur). Avec le logiciel aLTAG-3D, il est ainsi possible de produire un dépôt qui contienne l'ensemble des métadonnées utiles à la compréhension du projet[139] et qui, à terme, sera identifié à l'aide d'un DOI.

Modélisation et hypothèses

La force des outils numériques est de pouvoir proposer, tester et simuler des hypothèses de manière virtuelle, sans toucher physiquement au patrimoine, et avec des coûts réduits : il n'est pas nécessaire de reconstruire un mur pour en tester la pertinence historique, par exemple. C'est donc tout naturellement que la modélisation numérique du patrimoine, au sens large, est devenu essentielle à la documen-

134 http://www.aioli.cloud/
135 Manuel 2016, p. 155.
136 Champion et Rahaman 2020.
137 *Ibid.*, p. 4.
138 http://europeana.eu/portal/en
139 Tournon-Valiente *et al.* 2019.

tation et l'analyse historique et archéologique[140]. Les hypothèses produites dans ce domaine visent principalement à la restitution d'un état passé du patrimoine et de son fonctionnement en trois dimensions et à la restitution diachronique permettant de comprendre l'enchaînement de ses différentes phases d'usage. Plus récemment, les outils de simulation et de visualisation ont également rendu possible la formulation d'hypothèses dépassant ces deux catégories, en liant à l'espace la question des sens, au premier duquel figure le son.

Réalisation d'hypothèses 3D de restitution

Hypothèses et fiabilité

L'intérêt de l'usage de l'informatique pour la réalisation d'hypothèses de restitution tient selon plusieurs auteurs dans sa capacité à multiplier les hypothèses et à afficher clairement ce qui relève d'une hypothèse et ce qui est attesté avec certitude. Pour Sorin Hermon *et al.*, un des aspects clés de la visualisation d'hypothèses en trois dimensions est sa capacité à transformer des données (archéologiques ou historiques) en informations et en connaissances[141]. Or, pour pouvoir se fier à ces informations ou connaissances, il est nécessaire de les valider de manière scientifique. Les auteurs proposent donc d'associer à chaque version d'un modèle une note de confiance (*reliability* dans le texte original) basée sur les méthodes de logique floue (une branche de la logique basée sur les « ensembles flous » dont les limites ne sont pas aussi franches que les ensembles mathématiques classiques). Grâce à ce type d'outil il serait possible de comparer la note de confiance accordée à chaque proposition ou hypothèse. La conclusion de cette proposition éclaire en réalité sur les difficultés d'une telle approche, qui nécessite de pouvoir accorder de manière systématique un degré de fiabilité à chacune des décisions de restitution prises : les outils et interfaces manquent pour cela, et ne sont pas adaptés à un processus dont on ne peut nier l'aspect créatif. L'exemple donné par les mêmes auteurs à propos de la restitution d'une maison éthiopienne est à ce titre parlant sur les difficultés à noter l'incertitude des parties du modèle, liée à l'intuition :

> Naturally, this index is based on the previous knowledge of the researcher, his/her intuition and on results of the background research performed by the researcher before modeling the final shape of the component[142].

Pouvoir donner une note globale à un modèle virtuel nécessite donc de documenter l'ensemble du processus qui a mené à sa conception. C'est pour cette raison qu'un outil basé sur un modèle de décision, permettant de lier des objets numériques, des décisions et des descriptions a été envisagé par Uros Damnjanovic *et al.*[143] : il se compose d'une base de données contenant l'ensemble du contexte archéologique et historique lié à la modélisation et d'un arbre de décision qui permet de renseigner les questions auxquelles les spécialistes tentent de répondre, les objets-sources utilisés, des commentaires, et les décisions prises *in fine*. En liant ce type d'approche à celle d'un calcul de fiabilité, il serait donc possible de produire grandement des indices permettant de renseigner, selon les auteurs, la qualité de la restitution ou de solution jugées meilleures. Cette approche repose encore sur la nécessité d'une description exhaustive de l'ensemble du processus et également sur une base de données, elle aussi exhaustive, sur laquelle appuyer toutes les décisions. Il est difficilement concevable,

140 Joffres *et al.* 2017, p. 10.
141 Hermon *et al.* 2005.
142 Hermon *et al.* 2006.
143 Damnjanovic *et al.* 2013.

Fig. 26. **Échelle des preuves utilisées pour la restitution archéologique ou historique selon Cesar Figueirido (Société PAR).**

à notre avis, d'imaginer que ces deux conditions puissent être remplies en dehors de cas très spécifiques.

Un cas où une telle approche serait envisageable est celui où la restitution est elle-même produite par ordinateur. Krzystof Koszewski et son équipe ont utilisé cette approche pour la restitution du site proto-urbain de Pułtusk en Pologne[144]. Les études archéologiques du site, qui n'ont permis de fouiller que 40% des vestiges, ont mis à jour les fondations et la base des murs de plusieurs maisons composées de rondins de bois. Les archéologues, en lien avec les architectes, ont analysé les vestiges pour proposer des modèles d'organisation des huttes qui composent cet habitat. Les auteurs se sont donc penchés sur l'utilisation de méthodes paramétriques de conception en trois dimensions, qui permettent de formuler rapidement plusieurs dizaines d'hypothèses possibles à partir de données d'entrée (dans ce cas, les données archéologiques sur l'organisation architecturale des vestiges). Cette modélisation paramétrique a été réalisée grâce au logiciel Grasshopper pour Rhino, et autorise la visualisation de l'évolution de l'ensemble du site au cours du temps, en proposant également solutions pour les parties non fouillées. L'intérêt du recours à cette démarche est que les modèles produits par l'ordinateur le sont en fonction de critères clairement identifiables parmi lesquels n'apparaît plus, *a priori*, l'intuition du chercheur.

Ajouter un degré de fiabilité aux différents composants d'un modèle virtuel pour l'archéologie ou l'histoire invite évidemment à montrer cette donnée à l'utilisateur. La méthode traditionnelle est de différencier les vestiges connus de ceux restitués au moyen d'informations visuelles (comme la transparence ou la couleur). Lors de la réalisation d'une maquette réelle à partir d'un modèle virtuel de la restitution de la Salle à Manger de Néron à Rome, Matthieu Quantin et Florent Laroche[145] ont utilisé une échelle de quatre couleurs permettant de définir le degré de certitude, au regarde des données archéologiques, des parties visibles. L'orange vif décrit les parties certaines, qui sont en réalité les vestiges conservées, tandis que le blanc définit les parties les moins certaines. La société PAR[146] (Arqueologia y Patrimonio Virtual), spécialisée dans la restitution photoréaliste et didactique du patrimoine, utilise

144 Koszewski *et al.* 2017.
145 Quantin *et al.* 2017b.
146 https://parpatrimonioytecnologia.wordpress.com

Fig. 27. Restitution virtuelle (en haut) et affichage du degré de confiance (en bas) pour le site archéologique d'Éléphantine en Égypte (Source : PAR).

quant à elle une échelle de 10 couleurs (*Fig. 26*) qui permet de différencier avec précisions les éléments du modèle selon qu'ils résultent de l'imagination ou d'une modélisation directe d'un objet existant en place (*Fig. 27*). Cette approche ne se base pas, on le voit, sur un calcul informatique, mais bien sur l'ajout, par l'expert, d'une seule valeur basée sur l'origine de l'information sur laquelle s'appuie la modélisation.

Hypothèse et réalité virtuelle

La réalité virtuelle est parfois utilisée pour mettre en scène ou tester des hypothèses scientifiques relatives au patrimoine. Colleen Morgan a ainsi utilisé les potentiels de *Second Life*[147], une réalité virtuelle non immersive, pour tester la restitution de Çatalhöyük, en Turquie[148]. L'usage de cette plateforme de réalité virtuelle est avant tout pour l'auteur un moyen de profiter d'outils de modélisation destinés au grand public, plutôt que de passer par les outils professionnels traditionnels qui sont d'un usage parfois difficile. L'auteur insiste en revanche sur les possibilités d'expérimentation virtuelle que propose cette plateforme, possibilités qui reposent autant

147 *Second Life* est un univers alternatif virtuel annoncé en 1999 et disponible pour le grand public en 2003. Malgré un enthousiasme pour cette plateforme dans la première moitié de la décennie 2000, après 2007 l'intérêt diminue fortement, même si 800 000 personnes continuent à visiter *Second Life* au moins une fois par mois selon Linden Lab, son concepteur.

148 Morgan 2009.

sur la sérendipité que sur la confrontation à des problèmes concrets (bien qu'en réalité virtuelle) :

> For example, after virtually plastering the interior of the reconstruction house, the sun set in Second Life, filling the house with evening light, illuminating the walls. The light soon became too dark to correctly model the platform I was working on, and I had to start considering the in-world time of day when choosing visual aspects of the reconstruction[149].

La confrontation de la modélisation à l'expérience est justement ce qui a poussé Helena Rua et Pedro Alvito à avoir recours aux outils de réalité virtuelle immersive et aux moteurs de jeux vidéo[150]. La force d'un moteur de jeu vidéo réside, pour les auteurs, dans sa capacité à produire des modèles rapidement sans passer par la production d'images statiques qui demandent du temps et des ressources de calcul : cela répond en quelque sorte au fonctionnement de la recherche en archéologie qui se base sur le test de nombreuses hypothèses. Les auteurs notent néanmoins qu'il est nécessaire à cet effet d'ajouter à l'équipe de recherche des compétences en architecture, en ingénierie des structures, en animation et en modélisation 3D[151]. La réalité virtuelle leur offre une possibilité d'expérimentation et de visualisation des idées bien supérieure à celle permise par l'utilisation d'images en deux dimensions. La conclusion des auteurs est à ce titre édifiante :

> This shows that it is a suitable procedure for discussing, sharing and disseminating information about an object, a city or a whole civilization. It can therefore be stated that 3D models are far more than a simple medium for exhibition: they are quite definitely fundamental to archaeological research, and are therefore a new way of looking at history[152].

L'équipe dite du « Plan de Rome » au CIREVE à Caen[153] est en charge depuis de nombreuses années de la réalisation d'une maquette virtuelle complète de la Rome antique vers 135 de notre ère. L'utilisation de la réalité virtuelle pour le travail sur cette maquette est pour l'équipe essentielle, en permettant notamment de comprendre la temporalité associée aux déplacements à pied dans la ville[154]. Le modèle est ainsi conçu comme étant à cinq dimensions : les trois dimensions habituelles de l'espace auxquelles s'ajoutent le temps qui permet de visualiser l'évolution de la ville dans l'histoire et l'accès aux informations anciennes. Le projet de maquette numérique est donc associé à une base de données qui permet d'accéder aux informations sur l'état de la recherche concernant un élément en particulier[155]. Initialement proposé en visite via un écran d'ordinateur, le Plan de Rome est aujourd'hui accessible en immersion en réalité virtuelle, ce qui permet l'interaction directe avec certains mécanismes, par exemple.

Jean-Baptiste Barreau a quant à lui utilisé la plateforme Immersia de l'IRISA, de type SID, pour permettre l'immersion des chercheurs dans la restitution de la plantation de sucre de Loyola en Guyane française[156]. La modélisation de la restitution a été réalisée sur 3DS Max et V-Ray puis importée sur la plateforme de conception de jeux vidéos Unity. Cette restitution comprend également des éléments non architecturaux, comme la végétation, la faune et des avatars des ouvriers habitants de la plantation. L'intérêt de la restitution en réalité virtuelle immersive est ici de pouvoir se déplacer de manière naturelle dans la plantation et de comprendre les différents

149 Morgan 2009, p. 474.
150 Rua et Alvito 2011.
151 *Ibid.*, p. 3306.
152 *Ibid.*, p. 3307.
153 https://rome.unicaen.fr
154 Fleury et Madeleine 2012.
155 Fleury et Madeleine 2007.
156 Barreau *et al.* 2015b.

Fig. 28. Immersion dans La Boulongne en pleine mer virtuelle (Source : Barreau *et al.* 2015).

itinéraires utilisés par les ouvriers de la plantation ou les jeux de visibilités entre les corps de bâtiments. Ces travaux permettraient par la suite, selon les auteurs, d'offrir la possibilité aux archéologues d'étudier en réalité virtuelle la vie quotidienne de la plantation. Les conclusions de l'article relèvent néanmoins des questions techniques à propos l'immersion en réalité virtuelle pour la recherche en archéologie, concernant notamment la génération de rapports d'étude ou la conception en immersion.

Simulation et modélisation de mécanismes

Robert Vergnieux notait en 2011 que grâce à une modélisation précise, il est possible d'entreprendre des simulations permettant en retour de mieux comprendre le fonctionnement d'édifices ou de machines qui sont parvenues jusqu'à nous. Pour l'auteur, « c'est uniquement à cette condition qu'il devient par exemple possible de comprendre comment se déroulaient les courses de chars dans les cirques romains ; de comprendre comment fonctionnait une machinerie hydraulique de la période romaine ; ou encore le déroulement d'un rituel dans un temple égyptien[157]. »

Toujours sur la plateforme Immersia de l'IRISA, Jean-Baptiste Barreau et son équipe ont mis en place la simulation de fonctionnement d'un navire du XVIII^e^ siècle : La Boullongne[158]. Ce travail est intéressant non seulement parce qu'il utilise l'immersion en réalité virtuelle, mais également parce qu'il fait la démonstration de l'usage des techniques de restitution en trois dimensions sans le recours à des vestiges archéologiques. Les sources utilisées pour reproduire le navire disparu sont en effet des plans issus d'archives tandis que pour reproduire les déplacements du vaisseau, les chercheurs se sont appuyés sur le journal de bord de La Boullongne. Outre la restitution du navire, les auteurs ont également entrepris une restitution de l'environnement visuel (mer, îles, animaux marins), de l'environnement sonore et de l'environnement physique (avec les vagues et leur impact sur les mouvements du bateau). Un certain nombre d'interactions avec la maquette virtuelle sont rendues possibles par la réalité virtuelle, parmi lesquelles la possibilité de barrer La Boullongne, de tirer aux canons, ou de manière moins réaliste, de contrôler la météo pour observer ses effets sur la tenue en mer. Cette simulation montre l'intérêt de la réalité virtuelle pour le travail des historiens : un nouveau regard sur le sujet d'étude fait jaillir de nouvelles questions de recherche. Ces questions peuvent concerner aussi bien la vie quotidienne à bord dans des conditions difficiles que l'usage des canons qui paraît d'autant plus hypothétique. C'est la modélisation précise des mécanismes et du fonctionnement physique du navire qui, en outre, incite les chercheurs à s'interroger sur les points de vue du capitaine lorsqu'il barre, par exemple.

Karim Sammour, dans sa thèse, s'est intéressé à la restitution virtuelle des machines de siège romaine, donc à la modélisation précise d'objets qui relèvent plutôt de l'ingénierie[159]. Son étude s'est fondée sur des sources historiques (des descriptions et des représentations, notamment) de machines utilisées par l'armée romaine. La modélisation de l'ensemble des pièces utilisées a permis d'estimer le poids de cha-

157 Vergnieux 2011, p. 41-42.
158 Barreau *et al.* 2015a.
159 Sammour 2017.

cune d'elle et donc les moyens nécessaires à leur mise en place au sol, ou en hauteur. Cela pose des questions d'usage de ces machines, concernant notamment leur déplacement depuis un site de production jusqu'aux champs de bataille, et au sein du champ de bataille où l'auteur met en évidence le besoin de terrassement spécifique en amont de leur utilisation.

Historiquement plus proche de nous, la restitution de mécanismes industriels s'apparente à la rétro-ingénierie : elle consiste à comprendre le fonctionnement de machines puis à modéliser celui-ci. Florent Laroche a par exemple étudié et modélisé le fonctionnement d'une machine à vapeur construite en 1898 à partir des vestiges de celle-ci et de la documentation historique associée à cet objet[160]. Les outils de modélisation mécanique peuvent être différents de ceux utilisés dans la restitution architecturale, tant du point de vue des concepts de modélisation que des logiciels eux-mêmes. L'utilisation de schémas cinématiques, outils conceptuel de l'ingénieur mécanicien, est ainsi inévitable pour la restitution du fonctionnement d'un tel système, tandis que les outils numériques de l'ingénieur comme le logiciel CATIA de Dassault Systèmes sont également plus adaptés à ce type d'exercice.

Hypothèses diachroniques

Bruno Dufaÿ notait en 2014 qu'il n'était pas si fréquent d'allier restitution 3D et prise en compte de la dimension temporelle[161]. Il est en effet souvent réalisé une restitution d'un état parfois fantasmé du patrimoine, pour lequel chacune des constituantes (différents bâtiments, salles ou pièces mécaniques) serait dans son état idéal. À ce titre, la modélisation en trois dimensions est pourtant très utile parce qu'elle permet une « vue d'ensemble » qui implique le choix d'un scénario historique ou architectural privilégié. Il s'agit donc de pouvoir visualiser en trois dimensions les axes principaux de l'évolution d'un site sans forcément devoir et pouvoir s'attacher aux modifications mineures d'un élément de celui-ci au cours du temps. L'auteur insiste ainsi :

> On doit faire le pari d'une logique du site, même si celle-ci est complexe et résulte d'une combinaison d'actions humaines rationnelles, de contraintes et de jeux d'acteurs, de phénomènes de résilience et d'héritage. Ce postulat, seul, permet de comprendre des organisations humaines, que ce soit un habitat, une forteresse de la taille de celle de Chinon, une ville ou un réseau. Ainsi, le travail sur les maquettes a permis de proposer un modèle d'évolution en 2D, qui est le résultat du travail avec la 3D, et non l'inverse[162].

Partant d'un postulat similaire, Livio De Luca *et al.* ont proposé un système permettant de représenter schématiquement, en lien avec une modélisation 3D, les transformations d'un bâtiment dans le temps[163]. Deux types de phases sont ainsi visibles dans cette représentation graphique sous forme de frise chronologique : les états eux-mêmes, représentés par des rectangles aux coins arrondis lorsqu'ils perdurent dans le temps, ou par des cercles lorsqu'ils sont éphémères, et les phases de transition représentées par des rectangles. Ces représentations graphiques peuvent être générées automatiquement par ordinateur pour peu que les différentes phases d'existence d'un élément d'un modèle 3D soient renseignées avec précision. Des visualisations schématiques à différents niveaux de précision spatiale ou temporelles sont ainsi possibles. Puisque l'ensemble est lié à la maquette 3D, il est également possible de visualiser de manière virtuelle l'évolution du bâtiment au cours du temps. Ce type d'approche automatisée est à rapprocher de celle proposée par Sorin

160 Laroche *et al.* 2006.
161 Dufaÿ 2014, p. 153.
162 *Ibid.*, p. 158.
163 De Luca *et al.* 2011.

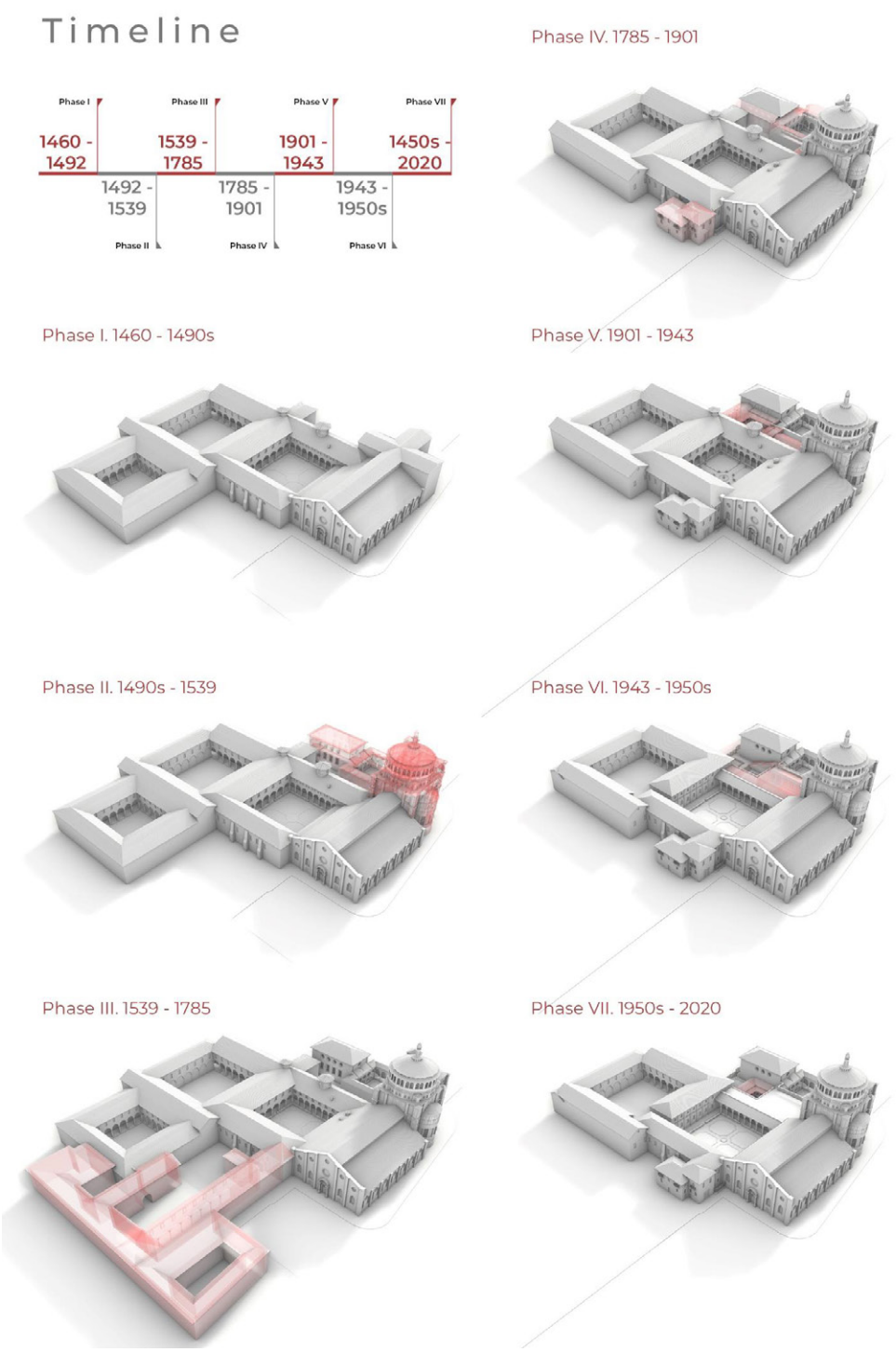


Fig. 29. **Restitution diachronique de l'abbaye Santa Maria Delle Grazie à Milan (Source : Aiello & Bolognesi 2020).**

Hermon pour le calcul des incertitudes : elle nécessite une connaissance exhaustive et une précision des données qui est parfois hors de portée des études archéologiques ou historiques.

Damiano Aiello et Cecilia Bolognesi présentent ainsi une approche différente de l'interprétation diachronique d'un site archéologique, celui de Santa Maria Delle Grazie à Milan[164] (*Fig. 29*). Pour tous les sous-composants de cette abbaye dominicaine italienne, plusieurs modèles tridimensionnels ont été réalisés pour chacune des phases historiques révélées par l'archéologie. Cette approche permet d'obtenir pour chaque phase un modèle qui possède une cohérence interne forte, défini d'abord par

164 Aiello et Bolognesi 2020.

les usages et attesté et par les sources archéologiques plutôt que par la continuité historique. Par exemple, pour le cloître du prieuré et la nouvelle sacristie, pour lesquels trois phases historiques ont été identifiées, trois restitutions différentes sont produites, chacune avec ses propres sources et ses propres incertitudes. Cela n'empêche pas les auteurs de proposer une restitution diachronique de l'ensemble du complexe, depuis 1460 jusqu'à 2020.

Restitution des sens

Si la restitution s'attache principalement à modéliser l'état d'un bâtiment à un certain moment de l'histoire, ou son évolution au cours de l'histoire, de plus en plus de projets de recherche visent également la restitution des éléments sensibles du passé. Dans cette dimension sensible, la dimension sonore est celle qui est aujourd'hui la plus explorée. Il s'agit en réalité de reconnaître que l'environnement et les sensations qu'il nous procure n'est pas uniquement constitué de stimuli visuels, et à ce titre le programme de recherche entrepris par les laboratoires CRESSON et CERMA de constitution d'un corpus architectural générateur d'ambiances est parlant :

> Il s'agit de recenser des édifices, ordinaires ou remarquables, et d'examiner comment ils forment un cadre construit spécifique d'une expérience sensible. Les sensations sonores, le régime thermique et aéraulique d'un endroit, les fragrances provenant d'un jardin, la perception visuelle en mouvement, et non plus simplement statique, peuvent être ainsi décelés et analysés dans leurs combinaisons et réciprocités pour caractériser ce qui produit l'ambiance d'une réalisation architecturale de référence[165].

Notons que parmi l'ensemble des sensations qui jouent un rôle dans la perception de l'ambiance, selon cette citation, la perception visuelle et la perception sonore sont celles qui sont les plus faciles à restituer grâce aux outils informatiques. Le monastère de Clairvaux, aujourd'hui détruit, fait partie de ces architectures de référence et a fait l'objet d'une modélisation tridimensionnelle et acoustique à partir de documents d'archives par Pascal Joanne[166]. Il s'agit dans ce cas d'étudier la définition et l'intelligibilité du son pour plusieurs positions des auditeurs dans la salle capitulaire. L'auteur révèle que l'utilisation des technologies habituellement utilisées pour la modélisation acoustique de futures salles de spectacles nécessite des adaptations pour fonctionner avec le patrimoine existant : il a fallu notamment établir une bibliothèque de sons de référence et d'époque et la caractérisation acoustique des matériaux utilisés dans l'architecture du passé.

À ce titre, les travaux de Mylène Pardoen, notamment le projet Bretez sur la restitution sonore du Châtelet de Paris au XVIII^e^ siècle, participent à la création d'une nouvelle discipline : l'archéologie du paysage sonore[167]. Elle décrit ainsi les raisons de la création d'une restitution archéologique du son :

> Si le « pourquoi » est souvent lié à la finalité de la demande […], l'action de restitution, elle, ne peut s'assimiler à la création d'un « simple » habillage sonore (sound design). Pour le musicologue, pour le metteur en sons, le travail, à ce jour, est inhabituel. Entendre le passé implique qu'il faut en chercher les traces dans l'ensemble du corpus littéraire […], mais pas seulement. Les arts graphiques offrent également leurs lots d'indices. Et au-delà de la récolte, c'est une réflexion sur les outils […] qui doit être menée. Pour être reconnue, l'archéologie du paysage sonore doit s'appuyer sur des cadres solides attestant la validité scientifique du travail de restitution. Le musicologue doit donc se

165 Joanne 2008, p. 287-288.
166 *Ibid.*
167 Pardoen 2013.

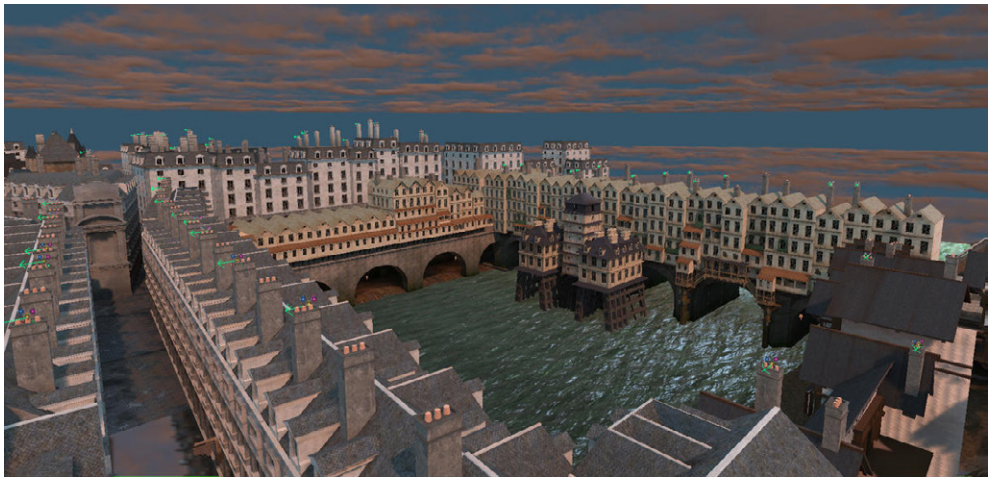


Fig. 30. Restitution virtuelle tridimensionnelle associé à la restitution sonore du quartier du Châtelet par Bretez (Source : CNRS), à écouter sur https://sites.google.com/site/louisbretez/home .

> tourner vers des historiens […], des acousticiens, etc. afin de prendre en compte nombre de critères nécessaires à cette création[168].

Dans le cas du projet Bretez, la prise en compte de la dimension sonore comme point d'entrée à la restitution du quartier du Châtelet permet une appréhension différente tant pour le grand public que pour les chercheurs. Il s'agit de pouvoir simuler des situations dans un environnement qui reproduit de manière réaliste les sons de l'époque. Or, le son joue une importance capitale dans l'organisation de la vie urbaine et est à ce titre un moyen de compréhension du passé.

Dans certains édifices, notamment les salles de spectacle, la dimension sonore est capitale pour la compréhension des intentions de l'architecte et des performances architecturales du lieu. Dario D'Orazio *et al.* ont ainsi étudié la restitution de la scène originale du théâtre Alighieri de Ravenne, telle qu'elle se présentait dans les années 1840[169]. Comme de nombreux théâtres, celui-ci présentait une avancée de la scène vers la salle, nommée *proscenium*, supprimée pour faire place à la fosse de l'orchestre. La restitution des qualités sonores du lieu à l'époque où il possédait encore un proscenium aide à comprendre les différences produites par cette modification de la configuration de la salle. Le *proscenium* aide ainsi à augmenter la force du son perçu par les auditeurs, tandis qu'il fait diminuer la clarté du son. Mario Montagud *et al.* s'interrogent en 2020 sur les outils à mettre en place pour permettre une restitution visuelle, sonore, mais également des performances théâtrales dans des théâtres historiques du XVIII^e^ siècle[170] : reconstitution de l'environnement sonore, interactions avec l'environnement par des points d'intérêt et des modalités spécifiques au monde du spectacle (multilingue, audio-description, etc.).

Ainsi, les outils informatiques de modélisation sont utilisés par les chercheurs en histoire et en archéologie, ils concernent plusieurs thématiques principales que l'on pourrait résumer en trois mots-clés : l'espace, le temps et l'ambiance. Pour autant, et malgré le développement des outils de réalité virtuelle et la relative facilité avec laquelle il est possible de transposer les modèles tridimensionnels ou sensoriels classiques (c'est-à-dire visualisés sur un écran d'ordinateur) à ce type de visualisation, l'immersion en réalité virtuelle reste marginale dans la formulation et le test d'hypothèses.

168 *Ibid.*, p. 157-158.
169 D'Orazio *et al.* 2019.
170 Montagud *et al.* 2020.

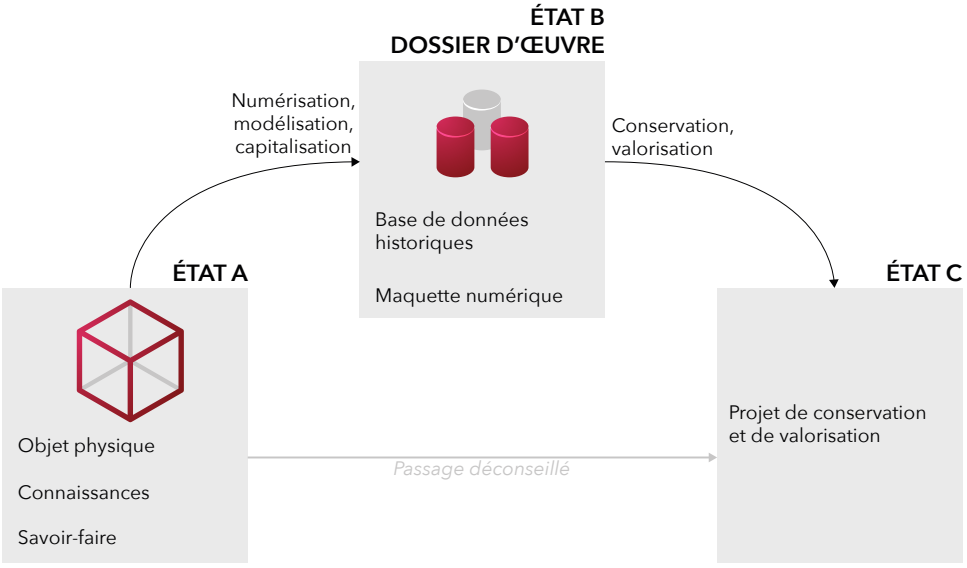


Fig. 31. **L'importance d'un modèle liant connaissances et maquette numérique au sein du Dossier d'Œuvre (Source : d'après Laroche 2007).**

Modélisation et connaissances

La construction d'hypothèses scientifiques de restitution pour le patrimoine s'appuie sur des documents et des connaissances. Les technologies de l'information ont également révolutionné les manières d'enregistrer, de consulter et de mettre en relation les connaissances sur le patrimoine. Avant même de pouvoir les utiliser, il convient de construire et de structurer un corpus de documents et connaissances. Ensuite, ces documents et connaissances peuvent être liés avec un modèle tridimensionnel dans l'objectif de visualiser les informations qui ont permis la formulation des hypothèses. Un autre type de connaissance associé à un modèle 3D est l'ensemble des métadonnées qui décrivent des objets selon un ensemble de descripteurs défini (taille, position, date, mots-clés, etc.). Enfin, nous verrons que l'immersion en réalité virtuelle est utilisée dans la recherche en histoire et en archéologie pour l'obtention et la consultation de connaissances.

Construction, structuration de corpus

La construction de modèle de connaissances, liées ou non au patrimoine, est une des spécificités de notre équipe de recherche IS3P (Ingénierie des Systèmes : Produit, Processus Performance) au LS2N. Nous nous appuierons donc principalement sur les travaux des membres de l'équipe qui donnent une idée fidèle de l'environnement conceptuel dans lequel nos travaux de recherche se positionnent. Nous notons avec une astérisque les auteurs qui font ou ont fait partie de l'équipe IS3P.

Dans sa thèse de doctorat, Florent Laroche* propose un outil conceptuel permettant de guider les analyses et les études du patrimoine industriel, le DHRM[171] pour *Digital Heritage Reference Model* (Modèle de référence pour le patrimoine numérique). Ce modèle permet de rassembler au sein d'une même entité non seulement une description fine de l'objet étudié mais également les outils, la documentation et les ressources humaines nécessaires à son étude. À ce titre, il fournit un moyen d'organiser un corpus documentaire autour d'un objet patrimonial : le dossier d'œuvre patrimoniale technique (*Fig. 31*). Le recours à un tel dossier est rendu nécessaire, selon l'auteur, par l'impossibilité de passer directement de l'objet physique patrimo-

171 Laroche 2007.

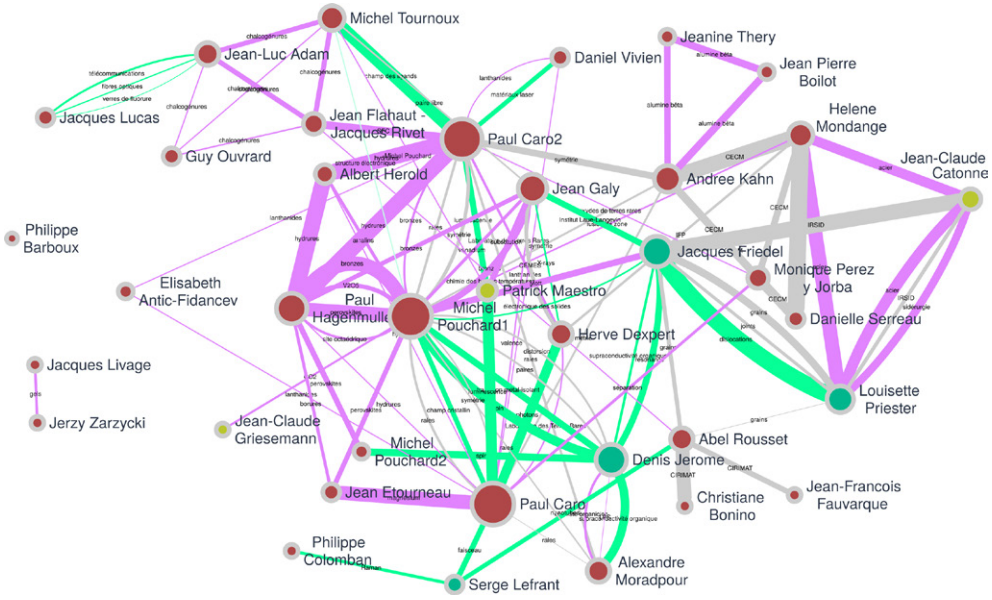


Fig. 32. Exemple de graphe reliant des documents historiques produit par Haruspex (Source : Quantin 2018).

nial à un projet de conservation ou de valorisation. Pour cela, il faut entreprendre la réalisation d'une maquette numérique et la construction d'une base de données et de connaissances, les deux formant le dossier d'œuvre patrimoniale.

L'ajout de connaissances à une maquette numérique n'est pas uniquement réservé au cas du patrimoine : c'est aussi selon Mohamed-Islem Ouamer-Ali* *et al.* un moyen efficace, voire indispensable, pour permettre la rétro-ingénierie[172]. La gestion de la connaissance est en effet un domaine d'étude particulier du monde industriel visant à capitaliser les connaissances des entreprises que l'on nomme *Knowledge Management* ou KM. Pour les auteurs, la rétro-ingénierie consiste à remonter le temps des cycles de développement d'un produit et ainsi remonter à des niveaux d'abstraction supérieurs à ceux représentés par le produit fini[173]. Conçue à l'origine à destination des entreprises, la méthodologie développée par les auteurs, visant à remonter aux connaissances abstraites ayant prévalu à la conception d'un objet, pourrait tout à fait s'appliquer au monde de la restitution historique ou archéologique. La méthodologie prend, dans la thèse de Mohamed-Islem Ouamer-Ali, le nom de concept Ki4D[174] visant à décrire un produit selon un modèle spécifique (fonction, comportement et structure) puis à accumuler les informations et à remonter aux niveaux d'abstraction plus élevés dans chacune de ces descriptions.

Une fois les connaissances et documents accumulés pour décrire un objet patrimonial, la navigation à l'intérieur de l'ensemble, c'est-à-dire la possibilité d'effectuer des recherches ou de faire des liens entre les éléments, est essentielle. Matthieu Quantin* s'est particulièrement intéressé au cas de l'accumulation de sources historiques au format texte et aux moyens de créer des relations entre ces documents en proposant une solution nommée Haruspex[175]. Cette proposition vise à créer un graphe représentant les différents éléments d'un corpus et à rapprocher schématiquement les documents qui semblent proches (*Fig. 32*), c'est-à-dire qui traitent du même sujet. Pour cela, les expressions caractéristiques au sein d'un texte sont extraites et leur occurrence est comparée entre les différents éléments du corpus, créant autant de liens entre les éléments. *In fine*, cet outil permet aux chercheurs d'avoir un nouveau regard sur leurs données et d'offrir de nouvelles interprétations sur un corpus.

172 Ouamer Ali *et al.* 2014.
173 Ouamer Ali *et al.* 2015.
174 Ouamer Ali 2016.
175 Quantin *et al.* 2017a.

Lier connaissances et modèle 3D

Dans le cadre de l'analyse et de la rétro-ingénierie d'objets techniques anciens, Alain Bernard* *et al.* montrent que l'intégration étroite des connaissances à une numérisation tridimensionnelle est essentielle[176] :

> Because the geometry of a given product is the consequence of an important process, it is important to try to recover any evidence of its past life (including socio-economical aspects, the design intents of the former designer, its different uses...) from its geometry in order to produce a model of a good quality. Such a model can provide important possibilities of Reverse Engineering. It enables to restudy the product more efficiently than a geometrical model based on a mesh or on free form surfaces[177].

Pour répondre à cette problématique, la notion d'Archéologie Industrielle Avancée est proposée par les auteurs ; elle consiste à entreprendre la numérisation de l'objet étudié mais également une capitalisation des connaissances, en reliant celles-ci avec les différentes parties d'un modèle numérique. Ce lien reste néanmoins purement contextuel puisque la solution proposée ne permet pas la consultation des différentes connaissances en lien avec un élément d'un système mécanique.

Ce pas est franchi dans le projet Nantes 1900 décrit par Florent Laroche* *et al.*[178] qui consiste à lier à une maquette de la ville de Nantes en 1900 un ensemble de documents historiques (photographies ou descriptions). Pour cela, les différents documents sont placés dans une base de données et associés à des emplacements (sous la forme de points ou de zone selon les documents) sur le modèle 3D numérisé de la maquette. La thèse de Benjamin Hervy* détaille ainsi la solution technique mise en place pour réaliser le lien entre ces données de différents types : un système d'organisation des connaissances[179], dans le cadre d'un *Product Lifecyle Management* (PLM) muséologique. Il s'agit non seulement d'associer des éléments d'une base de données avec un modèle tridimensionnel grâce à une plateforme disponible en ligne, mais aussi de réaliser des liens de proximité thématique ou sémantique (le réseau sémantique) entre les éléments de la base de données. De plus, la relation entre le modèle spatial et la base de données autorise également à rapprocher les éléments de cette dernière de manière spatiale : deux concepts différents mais s'appliquant à des bâtiments proches sont ainsi liés.

Lier des connaissances à un modèle de restitution patrimoniale est l'objet poursuivi par K. Bale *et al.* pour la restitution de l'exposition de l'Empire Britannique de 1938[180]. Le projet des auteurs vise à rendre possible une visite en réalité virtuelle, par un dispositif SID, de la restitution des différents bâtiments de cette exposition, dont la forme n'est connue que grâce à des documents incomplets sujets à interprétations. Il s'agit ensuite de visualiser, en immersion, les sources ayant contribué à la restitution de cet environnement. Pour cela, la solution retenue a été de s'appuyer sur l'ontologie du CIDOC CRM[181] pour la description des ressources, en limitant toutefois les champs de description à ceux strictement nécessaires à la formulation de liens avec les objets restitués virtuellement. Ce lien est lui-même formalisé en utilisant le descripteur P70 « Is documented by », du CIDOC CRM. L'affichage de cette documentation est proposé sur une tablette pour les utilisations dans un dispositifs SID, ou sur une fenêtre pour l'utilisation du dispositif sur l'écran d'un ordinateur. Le lien entre base de données et modèle virtuel restitué a également été interrogé

176 Bernard *et al.* 2010.
177 *Ibid.*
178 Laroche *et al.* 2011.
179 Hervy 2014, p. 89.
180 Bale *et al.* 2011.
181 http://www.cidoc-crm.org

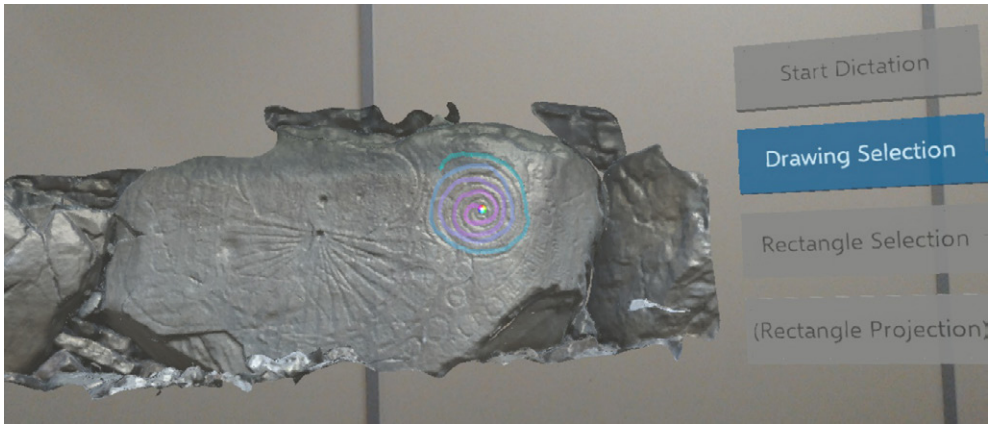


Fig. 33. Annotation en réalité virtuelle réalisée dans MAAP Annotate (Source : Barbier et al. 2017).

dans le cadre spécifique de la restitution de théâtres historiques par Elisa Bertino *et al.*, qui proposent une solution similaire à celle évoquée ci-dessus[182].

Réalité virtuelle pour l'obtention de connaissances

Dans les exemples précédents, soit les connaissances ont servi à produire une maquette tridimensionnelle, soit la maquette a servi de support à l'utilisation et la visualisation de connaissances. Certains chercheurs proposent cependant d'utiliser la maquette virtuelle, couplée à l'immersion en réalité virtuelle, pour permettre d'obtenir des connaissances.

Johanna Barbier *et al.* ont proposé une méthode permettant l'annotation, donc l'ajout de connaissances à un modèle virtuel, en étant immergé au moyen d'un dispositif de Réalité Augmentée[183]. Il s'agit dans ce cas précis de permettre la description et l'annotation de l'art mégalithique préhistorique au moyen d'une plateforme nommée *MAAP Annotate*. Pour l'utilisateur il est ainsi possible d'enregistrer des commentaires sur l'objet qu'il visualise, mais également de dessiner, en trois dimensions et en immersion, afin d'effectuer le relevé des gravures de ces mégalithes. Par ailleurs, l'utilisateur peut faire varier à tout moment la direction de la lumière, et ce afin de révéler les détails de la surface de l'élément numérisé. La plupart des utilisateurs ont trouvé l'usage de la plateforme naturel et logique, ce qui permet d'y envisager de réaliser sur une maquette virtuelle des opérations habituellement réalisées sur les objets réels (le relevé d'inscriptions, par exemple). Il s'agit donc bien d'un moyen d'obtenir des connaissances à partir d'un modèle 3D et en réalité virtuelle.

Le Centre François Viète et le LabSTICC de Brest proposent également l'utilisation de la réalité virtuelle afin d'extraire des connaissances par un système dénommé *Lab in Virtuo*. Marie-Morgane Abiven *et al.* montrent ainsi l'utilisation d'un tel système dans le cas des forges de Brest qui ont fermé définitivement en 2013[184]. Les forges ont fait l'objet d'un relevé au laser scanner qui a permis la modélisation des forges qu'il est possible de visiter en immersion à l'aide d'un dispositif de type HMD. L'utilisateur incarne alors l'avatar d'un ouvrier de cette forge et peut manipuler certains éléments de cette forge, dans un environnement sonore également restitué. *Lab in Virtuo* peut immerger en réalité virtuelle d'anciens ouvriers de cette forge pour obtenir des informations qui n'auraient pas pu être obtenues lors d'entretiens traditionnels. La visualisation de ce mode de fonctionnement est à ce titre édifiante : on y voit les anciens ouvriers partager de nombreuses informations précises et spécifiques décrivant l'usage et l'ambiance de lieux aujourd'hui disparus.

182 Bertino *et al.* 2006.
183 Barbier *et al.* 2017.
184 Abiven *et al.* 2018.

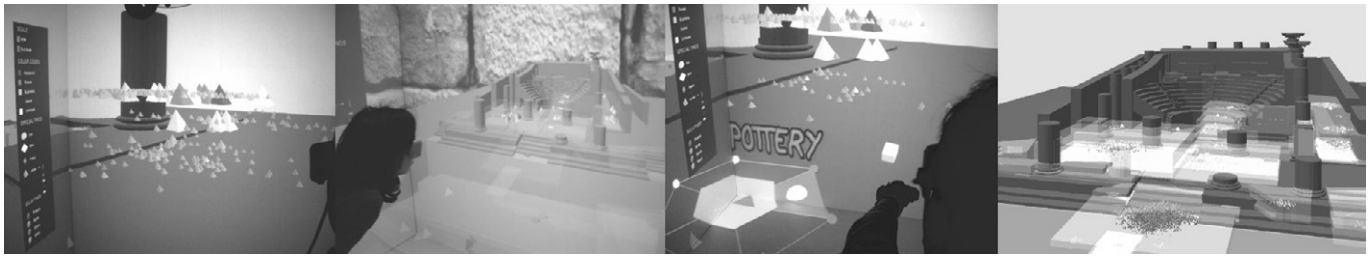


Fig. 34. Visualisation des données archéologiques dans un dispositif SID (source : Acevedo et al. 2001).

Visualisation de données archéologiques

Dans les différents cas étudiés jusqu'à présent, nous avons mis en évidence l'utilisation de la réalité virtuelle immersive lorsque celle-ci était utilisée à des fins de formulation ou de tests d'hypothèses ou de production de connaissances. Cependant, dans de nombreux cas, la réalité virtuelle est utilisée à des fins de simple visualisation, pour les chercheurs, des données numérisées ou produites. C'est à Louis Krasniewicz que l'on doit l'une des premières mentions de l'usage de la réalité virtuelle pour la visualisation de données en archéologie[185] :

> 3D models, virtual reconstructions, distribution map graphics, computer-based drawings, or immersive imaging all promise an accessible, highly visual, and interactive experience of difficult-to-see data placed back in at least some aspects of its original context[186].

L'auteur évoque principalement l'usage de panoramas à 360° qui permettent aux archéologues d'effectuer un retour virtuel sur le site de fouilles alors qu'ils procèdent à l'analyse des données, parfois plusieurs mois après la fin de la phase de chantier. Il n'est pas alors possible de parler d'environnement virtuel en trois dimensions, ni même de « numérisation » de l'existant, mais il s'agit bien d'une démarche rendant possible le retour sur site depuis un point éloigné tant dans le temps que dans l'espace.

En 2001, l'équipe de Daniel Acevedo a proposé d'utiliser la réalité virtuelle dans un dispositif SID afin de visualiser la répartition sur un site archéologique des différents artefacts retrouvés lors des fouilles[187]. Les utilisateurs, via une interface graphique, peuvent effectuer un ensemble de requêtes dans la base de données archéologiques du projet et ainsi visualiser la répartition des objets découverts dans l'espace selon plusieurs critères. Les retours des archéologues sur l'utilisation de ce système montrent son potentiel : cette visualisation conduit à une meilleure compréhension des données de fouilles, en permettant des analyses qui dans avec des méthodes traditionnelles auraient nécessité un travail extrêmement long, voire impossible.

Les progrès des techniques de numérisation et de visualisation ont rendu possible la visite virtuelle des maquettes issues de la numérisation des sites archéologiques par la photogrammétrie ou la lasergrammétrie. En 2012, par exemple, la plateforme Immersia a permis aux archéologues de visiter le modèle photogrammétrique de la voûte en encorbellement d'une structure du cinquième millénaire[188], alors même que l'accès au site réel est difficile et dangereux. Les outils mis à disposition des archéologues dans l'expérience immersive autorisaient le déplacement libre dans

185 Krasniewicz 2000.
186 *Ibid.*, p. 163.
187 Acevedo *et al.* 2001.
188 Gaugne *et al.* 2012.

l'espace (y compris en hauteur pour permettre d'accéder à la voûte), la création de plans de coupe montrant la section du monument à n'importe quel endroit du modèle et l'utilisation d'une lampe virtuelle éclairant le modèle selon différents angles. Les retours des archéologues au sujet d'une telle plateforme sont particulièrement encourageants :

> Total freedom of exploration coupled with the ease of understanding the site allowed by the structure, helped to immediately create a real synergy between archaeologists. So at the end of the immersion session, theories and ideas for new model exploration, cutting and analysis tools were discussed[189].

Le processus de photogrammétrie, s'il peut produire des nuages de points, est souvent utilisé pour produire des maillages qui sont des structures tridimensionnelles traditionnellement utilisées dans la visualisation 3D. En revanche, la lasergrammétrie produit uniquement des nuages de points qui sont des ensembles lourds et délicats à manipuler. Pour cela, la visualisation de nuages de points dans la plateforme Immersia, proposée par Barreau *et al.*[190], a nécessité un processus de découpage selon une structure appelée Octree[191], permettant de ne charger que les données utiles à la visualisation en cours. Les mêmes outils utilisés lors de la visualisation de modèles maillés peuvent ensuite être déployés et utilisés par les archéologues, avec les mêmes bénéfices.

Nous avons entrepris de recenser les grandes tendances dans la numérisation, la formulation d'hypothèses, la gestion des connaissances et la visualisation de données tridimensionnelles en histoire et en archéologie. Il paraît évident à la lecture des exemples choisis que le numérique a profondément gagné ces domaines de recherche, même s'il faut rester attentif à la grande quantité de projets de recherche qui ne font qu'un usage marginal, voire inexistant, des outils numériques et de la 3D. Dans l'ensemble des exemples cités précédemment, qui font tous un usage des technologies 3D pour le patrimoine, une infime partie utilise les outils d'immersion en réalité virtuelle, alors même que ceux-ci sont devenus beaucoup plus accessibles. L'usage de la réalité virtuelle dans la recherche en histoire et en archéologie demeure restreint, alors que lorsque des solutions reposant sur cette technologie sont déployées, elles montrent leur pertinence et leur capacité à stimuler la recherche scientifique.

189 *Ibid.*
190 Barreau *et al.* 2017.
191 L'octree est une structure de découpage de l'espace récursive en huit sous-composants. Chacun des sous-composants pouvant lui-même être redécoupé, etc.

Visualisation et interaction pour la diffusion et la médiation

Nous avons précédemment évoqué les usages des technologies numériques en lien avec la modélisation tridimensionnelle dans la recherche en histoire et en archéologie. La question se pose à présent de savoir ce que deviennent ces productions numériques lorsqu'elles quittent, en quelque sorte, les laboratoires qui les ont vu naître. Dans le cycle de la recherche, il s'agit des phases de diffusion (auprès de l'ensemble de la communauté scientifique) et de médiation (auprès du grand public).

Curieusement, nous n'avons trouvé aucun projet de recherche qui ait développé des outils, des procédures ou des méthodes spécifiques pour permettre la diffusion scientifique de modèles 3D. Dans ce domaine, la publication scientifique *via* des journaux, des monographies ou dans des colloques reste indétrônable : rien n'est fait, à notre connaissance, pour permettre la dissémination des connaissances scientifiques associées à un modèle tridimensionnel sans passer par un médium qui soit en deux dimensions seulement. La démonstration scientifique en personne, en permettant aux scientifique de se rencontrer et de discuter autour d'un modèle 3D, en utilisant un dispositif SID ou HMD par exemple, reste le seul moyen de partager ce type de modèle avec la communauté sans perdre l'intérêt de la troisième dimension.

Du côté de la médiation scientifique, en revanche, les exemples d'utilisation de l'immersion en réalité virtuelle sont nombreux dans les domaines de l'histoire et de l'archéologie. On entre alors dans ce qu'il est convenu d'appeler vulgarisation, et qui passe souvent par la production de supports spécifiques adaptés à un public défini à l'avance. Parmi ces publics, deux sont particulièrement ciblés par les dispositifs de médiation : le public scolaire pour lequel l'immersion en réalité virtuelle est un moyen efficace de susciter l'engagement et le public des musées qui voient dans ce dispositif un moyen de prolonger l'expérience muséale ou de mettre en valeur des œuvres. L'accès matériel aux dispositifs de réalité virtuelle rend néanmoins inégal le développement de solutions pour ces deux publics.

Susciter l'engagement pour l'éducation

Il convient d'expliciter ce que nous entendons par « public scolaire » avant d'étudier l'usage des technologies numériques pour la médiation du patrimoine auprès de celui-ci. En effet, il peut sembler réducteur de résumer ce public à celui des enfants et adolescents (couvrant ainsi principalement les collèges et lycées en France, et jusqu'à la fin de la *High School* dans le système anglo-saxon). Certains dispositifs sont ainsi conçus pour pouvoir être utilisés à l'université ou dans les grandes écoles, ce qui invalide le critère de l'âge. Cependant, dans le cas spécifique des dispositifs de réalité virtuelle de type HMD, la plupart des constructeurs déconseillent leur usage avant l'âge de 13 ans. Le public scolaire concerné est donc celui des adolescents et jeunes adultes dans le cadre d'une formation non professionnelle (les formations professionnelles rentrant dans une catégorie d'outils spécifiques hors de notre sujet d'étude). Pour ce type de public, le moyen privilégié d'utiliser les outils numériques pour l'étude du patrimoine reste le serious game dans lesquels la troisième dimension peut jouer un rôle majeur. C'est après avoir parcouru la place des serious games pour la médiation auprès de ce jeune public que nous pourrons nous intéresser spécifiquement à l'usage de la réalité virtuelle, qui n'est, signalons-le, pas nécessairement un jeu et ne peut donc être considérée comme une sous-catégorie de serious games.

Serious Games

L'idée principale des serious games, en français des jeux sérieux, est d'utiliser un jeu pour pouvoir faire autre chose que de se divertir. Julian Alvarez *et al.* ont montré que différentes définitions de ce type de jeu existent et qu'elles dépendent principalement de la discipline d'origine des chercheurs qui les formulent[192]. Les auteurs de cette étude proposent leur propre définition qui se veut rassembler la plupart des concepts :

> Application informatique, dont l'intention initiale est de combiner, avec cohérence, à la fois des aspects sérieux (*Serious*) tels, de manière non exhaustive et non exclusive, l'enseignement, l'apprentissage, la communication, ou encore l'information, aves des ressorts ludiques issus du jeu vidéo (*Game*). Une telle association, qui s'opère par l'implémentation d'un scénario utilitaire, qui, sur le plan informatique correspond à implémenter un habillage (sonore et graphique), une histoire et des règles idoines, a donc pour but de s'écarter du simple divertissement[193].

Outre cette définition, les auteurs proposent une méthode permettant de classer les différents serious games selon trois critères dénommés GPS : « Gameplay », « Permet de » et « Secteur ». Pour Gameplay, un serious game pourrait être ainsi un jeu vidéo ou un jouet vidéo : tandis que le premier explicite des règles pour gagner, le second invite à un libre usage qui est source de divertissement. Pour « Permet de », le serious game peut diffuser un message (éducatif, informatif, persuasif ou subjectif), dispenser un entraînement (cognitif ou physique) ou favoriser l'échange de données. Enfin, pour le « Secteur », les auteurs listent treize marchés et trois publics (grand public, professionnels et étudiants).

Dans ce classement GPS, les solutions de médiation du patrimoine, de l'histoire ou de l'archéologie pour l'éducation se classent donc comme suit :

— G : indifférent (jeux et jouets permettent de réaliser cette tâche) ;
— P : diffuser un message éducatif ;
— S : Marché de l'éducation, de l'art et de la culture à destination des étudiants.

Jeremiah McCall, en posant la question « Why Play Historical Simulation Games » dans son livre *Gaming the Past*, s'intéresse spécifiquement aux jeux de simulation historique[194]. Pour l'auteur, le fait que ces jeux soient des interprétations de réalités historiques ou archéologiques (sur le fonctionnement des sociétés dans le temps, sur le déroulement d'événements ou sur des objets ou monuments) en fait un outil utile au développement du sens critique chez les élèves. L'utilisation de jeux vidéo grand public (et donc pas forcément de serious game) a ainsi permis de faire naître de nombreuses questions pertinentes permettant de développer des points précis de l'histoire dans certaines classes. Bien sûr, cela nécessite de choisir avec précaution le jeu de simulation qui sont *in fine* d'être la porte d'entrée pour de nouvelles connaissances dans la classe[195]. Pour l'auteur, la force de l'usage de ce type de jeu est non dans l'amusement qu'il procure, mais bien dans l'engagement des utilisateurs qu'ils permettent d'obtenir. Dans une telle situation, les élèves sont ainsi plus disposés à interagir et à participer en classe[196].

Jerremie Clyde *et al.*[197] ont quant à eux une tout autre approche de la question de l'usage de ce type de serious games dans l'éducation. Pour ces auteurs, les simulations tout comme la plupart des serious games reposent sur l'idée de l'histoire contrefactuelle, c'est-à-dire l'histoire qui aurait pu se passer si certains événements

192 Alvarez *et al.* 2012, p. 57.
193 *Ibid.*, p. 59.
194 McCall 2011.
195 *Ibid.*, p. 22.
196 *Ibid.*, p. 20.
197 Clyde *et al.* 2012.

Fig. 35. Mode « Discovery » d'Assassin's Creed Odyssey (Source : Ubisoft).

avaient eu lieu différemment. L'exploration de cette non-histoire est rendue nécessaire par le fait que le jeu doit laisser au joueur la possibilité de réaliser des choix avec des conséquences, qui peuvent donc aller contre l'histoire réelle[198]. Les auteurs proposent donc un autre type de jeu, plus subtil, appelé « *Gamic Mode* », qui consiste à s'assurer que le joueur reste toujours dans un environnement qui corresponde à ce que renseignent les sources de l'historien, et que le déroulement du jeu suive un argumentaire précis à l'image d'un article scientifique :

> The gamic mode has the characteristic of historical validity and it also has a close connection with facts as evidence in order to construct a scholarly argument. Just like scholarly monographs and articles, the gamic mode of history utilizes citations, avoids appeals to rhetoric, and establishes clarity of assumptions to construct and defend an argument, in ways that are more useful and multifarious than the written textual mode[199].

Si de nombreux serious games sont des jeux créés spécifiquement pour un usage précis d'enseignement, certaines grandes franchises de jeu vidéo ont tenté de s'emparer de ce marché. C'est le cas notamment de la franchise Assassin's Creed du studio Ubisoft dont la prétendue justesse historique a été longtemps louée par la presse et certains membres de la communauté scientifique. Laurent Turcot et Jean-Clément Martin ont ainsi écrit un livre au sujet du cinquième opus de la saga[200], dans lequel ils appellent les historiens à ne pas juger le jeu vidéo avec le même regard que pour un article scientifique. Pourtant, dans l'opus *Assassin's Creed Odyssey*, se déroulant en Égypte Ancienne, Ubisoft a ajouté un mode Discovery (*Fig. 35*) qui permet, selon le site d'Ubisoft :

198 *Ibid.*, p. 10.
199 *Ibid.*, p. 14.
200 Turcot et Martin 2015.

> […] d'explorer l'Égypte ancienne sans être interrompu par des combats ou des quêtes. Purement éducatif, ce mode est un musée virtuel proposant des visites guidées et la découverte de sites historiques[201].

On pourra ainsi découvrir l'intérieur de la pyramide de Khéops avec des commentaires montrant les sources archéologiques utilisées pour concevoir les modèles et mettant en évidence les éventuelles différences avec l'environnement conçu par les développeurs.

Réalité virtuelle en classe

En 2015, Laura Freina et Michela Ott ont entrepris une revue de littérature, prenant en compte 93 articles, concernant l'usage de la réalité virtuelle immersive pour l'éducation[202]. Leurs conclusions montrent qu'une très grande majorité des sujets traités à l'aide de la réalité virtuelle concernaient les sciences numériques et l'ingénierie. De même, le public des étudiants à l'université serait la cible de la majorité des publications étudiées par les auteurs. Les usages de la réalité virtuelle pour des enfants sont alors limités à l'apprentissage de la science et à des expositions artistiques virtuelles. Les auteurs pointent pourtant qu'une grande partie des propositions étudiées voient la réalité virtuelle comme un moyen d'accès à des lieux ou des phénomènes inaccessibles en réalité. Il s'agit notamment de pouvoir voyager dans le temps pour permettre aux étudiants d'expérimenter différentes périodes historiques ou de voyager dans des endroits inaccessibles.

Cet état de la question en 2015 nous semble toujours d'actualité, en raison du peu d'applications concrètes de l'usage de la réalité virtuelle en classe d'histoire que nous avons pu trouver dans les publications. Amy Odlum a par exemple utilisé des modèles archéologiques (notamment du théâtre de Paphos à Chypre) auprès de ses élèves en classe d'histoire[203] et explore ainsi les possibilités d'intégration de ce type d'expérience dans une classe en envisageant les questions matérielles et organisationnelles. L'application utilisée permet par exemple la visite dans le modèle issu de la numérisation du site par photogrammétrie, mais également la restitution proposée par l'équipe archéologique.

La thèse de Philip Brownridge, portant sur l'usage de la réalité virtuelle pour l'enseignement de l'histoire aux États-Unis, montre qu'il s'agit toujours d'un sujet de recherche actif, avec de gros potentiels[204]. L'utilisation de la réalité virtuelle dans des classes d'histoire pour l'année scolaire 2018-2019, grâce au système *Google Expeditions*[205] permettant de visualiser du contenu interactif fourni par Google, a ainsi permis aux élèves des classes sélectionnées pour cette expérimentation d'être plus performants et donc d'obtenir de meilleures notes. De manière générale, l'utilisation de ce dispositif a eu un impact positif, selon Brownridge, sur la discipline, la pédagogie et l'engagement. L'auteur révèle cependant pourquoi la réalité virtuelle est si difficile à faire rentrer dans la classe :

> Making it even harder to incorporate virtual reality is the lack of educational support offered by tech companies and a lack of research as to whether or not virtual reality is a wise investment for a school. Deciding where virtual reality fits into curriculum is also complicated. Few school administrators have the technological background to make strong assertions in this area and even fewer technology companies have the educational experience to make informed suggestions. […] Teachers and administrators lack the

201 https://support.ubisoft.com/ Numéro de référence 000031846, consulté le 16 novembre 2020.
202 Freina et Ott 2015.
203 Odlum 2019.
204 Brownridge 2020.
205 https://edu.google.com/intl/fr_fr/products/vr-ar/expeditions/

time and resources to purchase technology and then figure out how to use it as they go[206].

L'expérience que nous avons réalisée avec les collégiens du Collège Sacré-Cœur d'Evron reste donc parmi les rares expérimentations de l'usage de la réalité virtuelle en classe (voir à ce sujet le chapitre II).

On le voit, si l'utilisation des serious games s'est intensifiée dans le système éducatif, il n'est pas possible d'en dire autant pour l'usage de la réalité virtuelle. Les facteurs qui expliquent cela sont nombreux : il s'agit avant tout d'un matériel coûteux qui évolue rapidement et pour lesquels les enseignants n'ont pas été formés. De plus, les expériences actuelles soulignent toutes le manque de ressources numériques disponibles pour permettre de viabiliser un tel investissement en dehors de quelques expérimentations ponctuelles.

Musées et réalité virtuelle

Grâce à l'étude de Geneviève Vidal et Florent Laroche sur l'usage des patrimoines numériques dans les musées on connaît mieux l'état actuel de l'utilisation des technologies numériques pour la mise en valeur des collections des musées[207]. Il s'agit de mettre en évidence les besoins et bonnes pratiques liés à la conception d'application numériques en lien avec le patrimoine. Celles-ci s'inscrivent souvent dans le cadre d'une numérisation des collections et d'une recherche de nouveaux moyens de médiation pour permettre d'améliorer l'expérience du musée à l'intérieur de celui-ci ou de prolonger l'expérience muséale en dehors du musée. Les auteurs insistent sur la nécessité d'un dialogue entre les prestataires réalisant ces outils numériques et les musées, afin de définir en amont les questions concernant les sens que vont susciter les applications développées, le public cible et l'objectif final du projet réalisé, les questions de conservation et d'archivage. Bien sûr, la question technique joue un rôle déterminant dans la réception de ce type de médiation par le grand public : les interfaces doivent êtres claires et intuitives, le matériel suffisamment solide, avec suffisamment de batterie, etc.[208].

Avant de nous intéresser aux usages de la réalité virtuelle immersive dans les musées, qui nécessite un matériel spécifique et des contraintes d'usage importantes, il convient d'explorer quelques usages de la 3D dans les musées qui ne font pas appel à l'immersion.

Exemples d'usages de la 3D pour la médiation dans les musées

Le musée de Cluny, installé dans les ruines de l'Abbaye éponyme, a été grâce à sa proximité avec l'école des Arts et Métiers de Cluny (ENSAM) un pionnier dans la restitution virtuelle. Dès le début des années 1990, en partenariat avec IBM, un modèle tridimensionnel de la restitution de l'abbaye était ainsi proposé. Depuis, les ingénieurs de l'ENSAM Christian Père et Sébastien Faucher ont mis en place un système permettant de visualiser sur le site ce qu'était l'abbaye avant sa destruction[209]. Il s'agit d'écrans mobiles qui affichent en Réalité Augmentée la restitution de l'église par dessus l'état actuel des vestiges. Une des particularités du dispositif est de prendre en compte la luminosité réelle du lieu pour pouvoir adapter la restitution en

206 Brownridge 2020, p. 182.
207 Vidal et Laroche 2017.
208 *Ibid.*, p. 37.
209 Pere et Faucher 2008.

Fig. 36. **Borne d'affichage en réalité augmentée de Cluny (Source : On-Situ).**

fonction : chaque utilisateur visualisera donc une image différente selon le moment de la journée où il consulte le dispositif, et même selon la météo.

À une autre échelle, l'expérimentation que nous avons déjà évoquée concernant la maquette de la ville de Nantes en 1900 permet également une interaction entre objet réel et représentation virtuelle[210]. Les concepteurs du dispositif ont rendu possible la mise en valeur de l'objet réel grâce à une maquette virtuelle qui, en réalité, n'apparaît jamais aux yeux des visiteurs du musée. Celle-ci ne sert qu'à permettre le calcul de proximité sémantique et spatiale entre les différents éléments de la base de données. Elle permet également l'éclairage, sur la maquette réelle, des zones concernées par le choix d'une thématique ou d'un élément de la base de données par l'utilisateur, grâce à une dalle tactile présente devant l'objet. Ici, c'est la capacité de l'objet patrimonial à être le support de connaissances et d'un discours qui est mise en valeur, au delà des qualités intrinsèques de cet objet lui-même.

Bruno Fabio *et al.* ont utilisé une tout autre approche d'utilisation de la maquette numérique pour la médiation[211]. Ils ont en effet entrepris la numérisation de plusieurs œuvres pour permettre une exposition virtuelle dans l'enceinte d'un musée. Les situations nécessitant la visualisation d'un objet en réalité virtuelle plutôt que la visualisation de l'objet réel ne manquent pas : les objets patrimoniaux, souvent fragiles, ne peuvent pas toujours être montrés au public ou déplacés pour une exposition. Dès lors, les auteurs ont imaginé un dispositif se basant sur un grand écran et des lunettes permettant aux visiteurs de voir l'image projetée en trois dimensions, et de contrôler la position des objets à l'écran pour les faire tourner et les examiner dans toutes les directions. Si l'utilisateur n'est pas à proprement parler immergé dans le monde virtuel, il peut néanmoins se rendre compte de la morphologie et des détails des œuvres ainsi numérisées.

L'impression en trois dimensions est aujourd'hui devenue suffisamment abordable pour que des musées puissent avoir recours à ce type de dispositif. Il s'agit selon Stuart Jeffrey d'une manière de fermer le cycle « Analogique-Numérique-Analogique[212] » en faisant retourner dans la réalité tangible des objets d'études qui ont été numérisés, et augmentés d'une analyse ou de traitements informatiques. Il s'agit également d'un moyen de réaliser des copies qui permettent la manipulation d'ob-

210 Laroche *et al.* 2011, Hervy 2014.
211 Fabio *et al.* 2010.
212 Jeffrey 2015, p. 149.

jets sans avoir à toucher les œuvres réelles. La société Archéoexpertise3D[213] vise par exemple à permettre la création de modèles imprimés en trois dimensions d'œuvres préalablement numérisées en offrant un rendu graphique et de texture le plus proche possible de la réalité.

Aujourd'hui, un grand nombre de musées ont recours à la 3D pour mettre en valeur leurs collections[214], si bien qu'un panorama complet de toutes ces applications serait particulièrement fastidieux et hors du cadre de cette étude. Les quatre exemples choisis ci-dessus sont en revanche représentatifs du lien qui peut exister entre un objet réel et sa représentation virtuelle dans un musée. La réalité virtuelle immersive, en se coupant complètement du lien avec le réel, permet d'aller encore plus loin.

Réalité virtuelle pour la médiation

Lorsque l'on pense à la réalité virtuelle et aux musées, une des premières idées qui vient à l'esprit est celle de pouvoir visiter un musée en réalité virtuelle. Ce domaine de recherche a fait l'objet de nombreuses propositions et d'articles, visant notamment à produire des expositions entièrement numériques tout en recréant le cadre d'un musée. L'intérêt d'une telle solution serait, pour Ivan Giangreco *et al.*, de pouvoir profiter d'un espace infini quand les salles des musées sont de taille limitée[215], ou de permettre selon Katerina Kabassi *et al.* à ceux qui n'en ont pas la possibilité de visiter un musée[216].

En 2010, Marcello Carrozzino et Massimi Bergamasco proposaient un système permettant de réaliser des visites d'expositions virtuelles[217], c'est-à-dire de collections issues de la numérisation d'œuvres situées dans des musées différents mais rapprochées virtuellement pour illustrer une thématique. Les dispositifs utilisés alors sont de type SID, permettant grâce à l'utilisation de simples lunettes de visualiser la 3D sur grand écran pour les visiteurs des musées. Mais au delà de ces expositions virtuels, les travaux des auteurs ont également exploré l'utilisation de la réalité virtuelle pour l'exploration des croquis des décors d'un opéra. Ils démontrent l'utilisation de cette technologie non plus pour imiter le monde réel, mais pour effectuer des expériences qui n'y sont pas possibles mais permettent pourtant une meilleure compréhension des œuvres. Les auteurs mentionnent toutefois plusieurs freins à l'adoption de ces technologies de réalité virtuelle immersive, en 2010, pour les musées, à savoir : le coût, la nécessité d'un travail multi-disciplinaire avec des compétences extérieures, la place nécessaire, la nécessité de porter un équipement sur soi et enfin l'effet Guggenheim. Cet effet consiste selon les auteurs, à la mise en avant du contenant au dépend du contenu ; le nom vient de l'architecture du musée Guggenheim de Bilbao, dessiné par Frank Gehry, qui aurait complètement éclipsé les œuvres du musée. Le risque serait alors grand de voir les dispositifs numériques voler la vedette aux œuvres elles-mêmes.

Philippe Dubé et Luc Courchesne se saisissent de la question de la visite virtuelle d'un monument numérisé, pour imaginer des interactions possibles entre le modèle virtuel et le modèle réel[218]. Un utilisateur immergé en réalité virtuelle, « *ex situ* », pourrait ainsi recevoir les commentaires d'un guide présent dans le lieu réel, « *in situ* ». Les auteurs proposent ainsi une expérience en duplex, qui permettrait une collaboration entre les visiteurs situés potentiellement à des milliers de kilomètres et un guide situé dans le site. La réalité virtuelle est ici vue comme un outil de col-

213 http://archeoexpertise3D.com
214 Vidal et Laroche 2017.
215 Giangreco *et al.* 2019.
216 Kabassi *et al.* 2019.
217 Carrozzino et Bergamasco 2010.
218 Dubé et Courchesne 2012.

Fig. 37. Espace immersif pour la visite de la restitution d'Ullastret (Source : Sierra et al. 2017).

laboration permettant d'offrir de nouvelles modalités d'interaction entre un visiteur et le patrimoine.

On peut également, grâce à la réalité virtuelle, saisir et manipuler virtuellement des objets qui sont autrement inaccessibles au grand public, soit parce qu'ils sont dans les réserves des musées, soit parce qu'ils sont enfermés dans des vitrines. Sara Gonizzi *et al.* ont ainsi proposé la manipulation d'objets de musées en réalité virtuelle afin d'en découvrir toutes les particularités[219]. Cette interaction est particulièrement utile pour les objets complexes ou qui présentent des inscriptions sur toutes les faces, comme c'est le cas du sarcophage égyptien sur lequel les auteurs ont travaillé. La solution retenue conduit à manipuler ce sarcophage, le déplacer dans l'espace afin de visualiser l'ensemble de ses faces, mais aussi pointer avec le doigt des éléments de décoration et lire les inscriptions hiéroglyphiques. Pour les auteurs, l'usage d'un dispositif de réalité virtuelle de type HMD est le moyen de contourner le problème de coût et de place que représente la mise en place d'un dispositif immersif de type SID. En revanche, il n'est pas fait mention des difficultés liées à l'entretien et à l'usure de ce type de matériel au cours du temps.

Pour la restitution tridimensionnelle de la ville romaine d'Ullastret, Albert Sierra *et al.* ont utilisé plusieurs moyens de médiation au sein du Musée Archéologique de Catalogne[220]. D'une part, le projet a consisté en l'installation d'un dispositif SID permettant une visite immersive en groupe, sans toutefois être interactif : le parcours de visite est imposé et l'utilisateur est passif dans ce système. Néanmoins, l'intérêt de ce dispositif était de permettre de reprendre les dimensions traditionnelles d'une pièce d'un habitat restitué, et ainsi de rapprocher le dispositif d'immersion en réalité virtuelle de l'espace virtuel qu'il représente (*Fig. 37*). Le sol a ainsi fait l'objet d'un travail spécifique pour restituer la sensation de la terre battue de l'ancienne ville. Dans le même temps, les auteurs ont mis en place une version accessible grâce à un dispositif HMD permettant une expérience complètement immersive et interactive. Nécessitant une attention constante au matériel et au logiciel, ces démonstrations avec sont limitées dans le temps et ont fait l'objet de présentations particulières dans le musée ou dans des colloques internationaux.

Maria Shehade et Theopisti Styalianou-Lambert ont interrogé 16 professionnels de musées à travers le monde pour connaître leur point de vue sur l'utilisation de la réalité virtuelle au sein des musées[221]. Les avantages perçus de ce dispositif de

219 Gonizzi Barsanti *et al.* 2015.
220 Sierra *et al.* 2017.
221 Shehade et Stylianou-Lambert 2020.

médiation sont nombreux : attraction du musée pour les visiteurs, engagement des visiteurs avec les collections, accessibilité, expériences personnalisées… En revanche, ils ont perçu de nombreuses difficultés, au premier rang desquelles la nécessité de personnel supplémentaire dédié à l'entretien et à la médiation avec ces dispositifs, le coût d'achat, d'entretien et de remplacement, et le manque d'interaction sociale à l'intérieur du dispositif. Un des responsables interrogé rappelle en effet que l'immersion en réalité virtuelle n'est qu'une petite partie de cette expérience offerte par ces nouveaux outils numériques :

> The thing we must never forget is the [visitor's] experience around the technology. It's not just what happens when they put the headset on, it's who did they speak to in order to be able to do this? Was that person able to make them feel comfortable? Is the equipment clean? Is everything working when they press the button? It's all the attention to detail of the experience for the person who's coming into it before they even put the headset on. And then also, what happened when they took the headset off? Was there somebody there to greet them, to point them which way to go now?[222]

Un aspect relevé par cette intervention et également mis en évidence dans le travail de ces auteurs est l'importance de l'hygiène. Dans des musées où des centaines de visiteurs peuvent essayer en une journée un dispositif, il convient d'assurer que celui-ci soit nettoyé de manière suffisamment régulière, ou de mettre à disposition des utilisateurs des sur-masques permettant de n'avoir aucun contact entre la peau de l'utilisateur et le casque lui-même.

De très nombreux musées utilisent ainsi les maquettes numériques tridimensionnelles pour la mise en valeur de leurs collections. Parmi ceux-ci un nombre de plus en plus important utilise la réalité virtuelle, permettant au grand public un engagement supérieur avec les collections et la manipulation ou la visualisation d'objets. Les musées sont néanmoins tiraillés entre l'usage de technologies immersives coûteuses et volumineuses, comme les SID, et l'usage de technologies comme les casques qui nécessitent une formation des personnels et un entretien important. C'est donc semble-t-il du côté de la technologie et des interfaces que des améliorations doivent être engagées, puisque les acteurs des musées semblent convaincus de l'intérêt de cette technologie.

222 Shehade et Stylianou-Lambert 2020, p. 12

Conclusion et problématique

Dans ce chapitre, nous avons parcouru les fondements théoriques de la restitution archéologique et historique, qui permet de faire revivre, grâce aux images, les monuments et pratiques du passé. Ils forment un cadre qui permet de comprendre pourquoi et comment les historiens et archéologues travaillent sur ces sujets. À partir de là, nous avons également parcouru les technologies, théories et pistes de recherche actuelles dans le domaine de la réalité virtuelle.

Nous cherchions en préambule à cet état de l'art à comprendre pourquoi les technologies de la réalité virtuelle semblaient rester d'un usage marginal pour la recherche, la diffusion et la médiation en histoire et en archéologie. Ces deux premières parties ont montré que nous avions affaire à des domaines matures, avec des technologies et savoir-faire éprouvés qui devraient donc pouvoir collaborer.

L'étude de la pratique du travail des historiens et des archéologues montre que les technologies numériques ont largement gagné ces métiers. Mieux encore, l'usage de la numérisation ou de la modélisation 3D est devenu courant dans ces domaines et de plus en plus commun dans la médiation scientifique. Peut-on cependant en dire autant de l'usage de la réalité virtuelle ? Si des exemples d'utilisation de l'immersion en réalité virtuelle pour la recherche existent, ils s'appuient souvent sur des dispositifs de SID coûteux et volumineux et paraissent encore aujourd'hui marginaux. La réalité virtuelle s'intègre parfois pour des projets spécifiques mais semble ne pas devoir gagner un large public auprès de la communauté scientifique ciblée.

D'un autre côté, tant le monde de l'éducation que celui de la médiation culturelle reconnaissent les potentiels très importants de l'utilisation de l'immersion en réalité virtuelle pour assurer l'engagement de l'utilisateur et sa découverte de temps, de lieux et d'objets inaccessibles. Malheureusement, les deux technologies majoritairement employées aujourd'hui pour la réalité virtuelle, les dispositifs SID et HMD, présentent des inconvénients qui paraissent rédhibitoire pour nombre de ces institutions. Quant à l'utilisation de l'immersion en réalité virtuelle pour la diffusion scientifique, de même que l'utilisation des modèles 3D eux-mêmes, c'est un sujet quasi inexistant.

Le même constat frustrant que nous faisions en commençant ce travail de recherche semble donc confirmé par l'état de l'art que nous venons d'effectuer. La technologie est prête, n'a jamais été aussi accessible, les méthodes de numérisations le permettent, les acteurs sont enchantés, mais la réalité virtuelle immersive peine à se faire une place dans les outils de recherche, de diffusion et de médiation pour l'histoire et l'archéologie. Même lorsque la réalité virtuelle est utilisée, nous voyons que très rares sont les exemples où l'outil est utilisé aussi bien pour la recherche que la médiation.

Dès lors, la question de recherche qui nous occupe dans le reste de cette thèse semble évidente : comment faire pour intégrer durablement la réalité virtuelle dans le processus de recherche en histoire et en archéologie ?

La réponse que nous formulons à cette question est double. Nous proposons à la fois une méthode qui puisse engager les chercheurs du domaine à utiliser l'immersion en réalité virtuelle, mais également un outil qui permette à tous les publics (chercheurs et grand public) de travailler ou de consulter une même maquette numérique.

Une méthode : la rétro-architecture

Chapitre IV

Nous pensons que la réponse à la problématique de notre recherche tient à la fois dans la mise en place d'une méthode et dans la création d'outils. Cette partie s'intéresse particulièrement au développement d'une méthode, développement pendant lequel relèverons le manque de certains outils que nous tenterons de créer dans la suite de ce travail. L'état de l'art que nous avons réalisé a mis en évidence la difficulté pour les historiens et archéologues de travailler sur les objets tridimensionnels, dans le cas particulier des ensembles bâtis : si les outils faisant usage de la troisième dimension sont utilisés, ils le sont généralement de manière marginale. L'usage de l'immersion en réalité virtuelle est donc d'autant plus rare. Nous proposons ici une méthode, nommée rétro-architecture, adaptée à l'analyse, l'interprétation et la restitution du bâti ancien en réalité virtuelle.

Avant de détailler les tenants et aboutissants de la rétro-architecture, les concepts qui sous tendent cette méthode seront analysés. Il s'agit notamment de faire l'inventaire des attentes spécifiques liées à la restitution architecturale, et particulièrement à la prise en compte des fonctions et usages lors de cette étape. Nous appuierons également sur la nécessaire adaptation de ce protocole aux chercheurs auxquels il est destiné : les historiens et les archéologues. Ces deux publics qui s'intéressent au passé ont en effet des approches différentes. L'enjeu de notre protocole étant de ménager une bonne place à l'usage de la troisième dimension et de sa visualisation grâce à la réalité virtuelle, nous détaillerons les implications de cet enjeu en formulant des hypothèses.

Nous donnerons ensuite une définition de ce que nous nommons rétro-architecture et mettrons ce terme en perspective, notamment vis-à-vis d'autres termes voisins comme la rétro-conception ou la rétro-ingénierie.

Enfin nous expliquerons la méthode de rétro-architecture en six étapes. Celles-ci sont :

— La définition des objectifs et du propos de la restitution ;
— La collecte et la numérisation des documents ;
— La contextualisation des documents et de l'ensemble restitué ;
— Le recoupement et l'analyse des données ;
— La modélisation ;
— La visite virtuelle avec des experts.

Au cours de ces étapes, les différents outils permettant d'assurer la visualisation de ces données en réalité virtuelle seront évoqués. Nous nous attacherons principalement aux moyens de numérisation de vestiges et des sources, ainsi qu'aux bonnes pratiques de réalisation de modèles tridimensionnels. Nous montrerons comment ces différentes étapes s'intègrent dans les processus actuels de travail des historiens et archéologues, sans pour autant minimiser le recours essentiel aux métiers de l'analyse architecturale et de l'infographie 3D.

Hypothèses et concepts

Une méthode centrée sur les spécificités de l'architecture

Nous souhaitons que la méthode que nous mettons en place soit adaptée à la modélisation d'ensembles bâtis et donc à l'architecture. En quoi s'attacher à l'architecture vient-il influencer la morphologie d'un protocole ou d'une méthodologie de restitution ? Cette question revient à interroger ce qui différencie l'architecture de n'importe quel autre objet produit par les sociétés au cours de l'histoire. Pour définir l'architecture il existe probablement autant de variations que d'architectes. Pour Le Corbusier, par exemple :

> L'architecture est le jeu savant correct et magnifique des volumes assemblés sous la lumière[1].

Cette définition, si elle éclaire le sens artistique et presque sculptural inhérent à la production architecturale, peut être mise en regard avec celle plus précise que donne le *Trésor de la Langue Française Informatisé* :

> Art, science et technique de la construction, de la restauration, de l'aménagement des édifices.[2]

Comme tout art, l'architecture est donc issue de considérations subjectives, mais elle est également empreinte d'impératifs techniques et scientifiques. C'est donc cette perception subjective, qui ne vaut que pour un sujet déterminé, qu'il nous faut pouvoir aborder dans la méthode : on approche ici la dimension sensible qui fait appel au ressenti, forcément variable, de chacun. Elle s'illustre dans l'intégration des usages dans l'architecture. Ces usages ne sont pas des « fonctions », des « besoins » ou des « pratiques » : ils illustrent la dimension sociale de l'architecture[3] qui la sépare assurément des machines ou des objets.

La question de l'usage

Le mot usage possède des réalités différentes selon le domaine dans lequel il est employé et un effort de définition est nécessaire pour lever toute ambiguïté. Dans le domaine des sciences humaines, on entendra l'usage comme étant la « Pratique, manière d'agir ancienne et fréquente, ne comportant pas d'impératif moral, qui est habituellement et normalement observée par les membres d'une société déterminée, d'un groupe social donné[4] ». Pour les relations sociales, l'usage se définit comme « L'ensemble des règles et des pratiques qui régissent les rapports sociaux et qui sont les plus couramment observées[5] ». Enfin, les sciences de l'ingénieur, au premier rang desquelles la conception de produit, considèrent l'usage comme « le fait de se servir de quelque chose, d'appliquer un procédé, une technique, de faire agir un objet, une matière selon leur nature, leur fonction propre afin d'obtenir un effet qui permettre de satisfaire un besoin[6] ».

1 Le Corbusier 1923.
2 http://atilf.atilf.fr, ci-après TLFI, « Architecture».
3 Pinson 2007, p. 166.
4 TLFI, « Usage », A1.
5 *Ibid.*, « Usage », A2.
6 *Ibid.*, « Usage », B1.

On voit dans la multiplicité de ces définitions l'ensemble des emplois possibles de ce mot[7] et les réalités bien différentes qu'il recouvre. Il peut s'agir aussi bien de désigner l'emploi purement technique d'une chose, sous l'angle au mieux de l'ergonomie, ou à défaut du rapport mécanique entre un utilisateur et un objet ; mais également de la manière de se comporter en société. Dans le domaine de l'architecture, le mot usage est justement utilisé pour cette ambiguïté, puisqu'il peut désigner la manière de se saisir d'un espace, donc de l'habiter en y instaurant des pratiques sociales, professionnelles, récréatives, etc. mais également la manière dont l'espace permet des actions purement pratiques : se déplacer, s'asseoir, abriter une machine, etc. Pour Daniel Pinson :

> L'usage est en effet volatile (versatile); il a, sous certains aspects, quelque chose d'insaisissable qui n'autorise pas de le fixer dans des types arrêtés. Il faut se défaire de l'illusion qu'un bon examen des usages, si scientifique soit-il du point de vue de l'approche socio-anthropologique, puisse conduire à une solution architecturale satisfaisant l'usage : l'usage n'existe d'ailleurs que pluriel[8].

Dès lors, qu'entend-on par « usage » dans notre étude ? La polysémie du mot nous semble intéressante et ce d'autant qu'elle recouvre des réalités différentes dans le domaine des sciences humaines et de l'ingénierie. Mieux, ces différents sens décrivent un continuum entre l'usage d'un objet, l'usage d'un espace architectural et l'usage dans la société, soit autant d'échelles différentes. Or, la réalité virtuelle permet justement d'explorer la diversité de ces échelles et donc de s'intéresser à la manière d'utiliser un objet, aux possibilités qu'offre un espace et aux interactions sociales.

Les usages sont centraux dans le processus que l'on souhaite mettre en place pour une bonne raison. S'il n'existe pas de bijection entre l'espace des usages et celui de l'architecture (c'est-à-dire qu'à une forme d'architecture peuvent correspondre plusieurs usages, et à un usage peuvent correspondre plusieurs formes d'architectures), la prise en compte de l'un et de l'autre peut réduire considérablement le champ des possibles. Lister des usages attestés pour un bâtiment disparu, en puisant et analysant leurs manifestations dans différentes sources, c'est limiter le nombre d'hypothèses valables et donc orienter la modélisation vers un état optimal.

Pour illustrer notre propos, prenons l'exemple d'une anecdote théâtrale extraite des *Mémoires du Marquis de Mirabeau* :

> Nous étions plus sages à la Comédie-Italienne, comme plus éloignés du Café de Procope et de toutes les assemblées de jeunes gens. Il m'y arriva un jour une bonne fortune. Je sentis une main qui coulait vers ma ceinture, je m'imaginai d'abord que c'était quelque filou ; je n'avais pourtant l'air bonne pratique ; et, n'ayant que vingt-quatre sous dans ma poche, je laissai aller la main. […] Enfin, m'adressant à des jeunes gens que je vis assez près : « Messieurs, leur dis-je, si quelqu'un de vous était dans le nouveau goût, voilà une perruque qui me persécute depuis une heure. » Mon homme glissa dans la foule et j'en fus quitte[9].

Dans cette description, nous n'avons effectivement pas à faire à un usage « habituel » du parterre. Mais dans cette scène se passant au parterre de la Comédie-Italienne, décrivant un usage malheureux de Mirabeau victime d'une agression sexuelle, nous pouvons nous interroger sur les contraintes spatiales qui ont rendu possibles une telle action. La foule était-elle suffisamment dense, l'éclairage suffisamment diffus ou l'ambiance sonore suffisamment calme pour permettre qu'une telle scène

7 Nous n'avons pas souhaité faire la liste complète des définitions possibles du mot « usage », que l'on peut retrouver sur le TLFI, et avons simplement gardé les définitions qui paraissent pertinentes au regard de nos domaines d'étude : l'ingénierie et les sciences humaines.

8 Pinson 2007.

9 Mirabeau 1834.

puisse se passer ? Si nous avions à réaliser une restitution du parterre de la Comédie-Italienne, nous pourrions donc partir de cette anecdote pour vérifier que la modélisation de l'éclairage permet l'obscurité et la promiscuité qui semblent baigner la scène décrite par Mirabeau.

Nous pouvons donc formuler une des hypothèses de notre travail :

H1. La prise en compte des usages permet d'orienter et d'encadrer les restitutions possibles d'un espace.

Le sensible

La question de la perception sensible de l'environnement est centrale dans le métier de la conception architecturale de nos jours. Elle dicte en effet le choix des matériaux, de l'éclairage, des couleurs, des systèmes techniques, qui tous concourent à créer une ambiance. Celle-ci peut être visuelle, sonore, olfactive, ou concerner n'importe quelle combinaison des cinq sens. S'il n'est pas assuré qu'une telle prise en compte de l'aspect sensible du lieu ait pu prendre une place importante dans la conception des édifices du passé, l'analyse de l'ambiance du lieu n'est pas sans apporter des informations intéressantes.

Un des aspects sensibles les plus évidents est celui de l'éclairage. Cette question, influencée aussi bien par les dispositifs architecturaux d'éclairages (portes, fenêtres, *occuli*) que par les dispositifs techniques (lampes, bougies, ampoules, etc.) oriente les usages possibles dans un espace. L'exemple de l'expérience de Mirabeau ci-dessus l'illustre bien : c'est aussi l'ambiance sensible du lieu qui rend possible l'agression du marquis.

La restitution de l'environnement sensible permet non seulement de tester la possibilité de certains usages, mais aussi d'expérimenter un espace du passé en étant le plus près possible d'une situation réelle. La perception que nous faisons de l'espace est en effet fortement influencée par l'ensemble des *stimuli* sensibles que celui-ci renvoie. Restituer cette perception c'est conduire à poser de nouvelles questions scientifiques sur la base d'un environnement multi-sensoriel se rapprochant de l'environnement réel. Nous formulons donc une hypothèse supplémentaire :

H2. La restitution de l'environnement sensible est heuristique.

Une méthode adaptée au travail des historiens et archéologues

Autant les historiens que les archéologues ont une démarche qui est centrée sur la notion de temps, avec un classement des événements dans l'ordre du temps : la chronologie[10]. Cette notion de temps, si elle n'est pas étrangère à la pratique architecturale, n'y occupe pas une place centrale. Pourtant, pour un même objet bâti que l'on cherche à restituer, on pourra aussi bien adopter une approche synchronique ou diachronique. La première s'attache à définir l'état à un moment donné, la seconde à définir l'évolution au cours du temps. L'une ou l'autre des ces approches implique qu'une restitution n'est valable que pour une période historique donnée, mais également que les documents étudiés ne sont représentatifs que de la période qui les a vu naître.

10 Offenstadt 2017, p. 18.

Les sources et leur importance pour les historiens

Le fondement même de la pratique de l'historiographie est une méthode basée sur la critique systématisée des documents[11]. Elle-même s'appuie sur l'analyse physique du document (la provenance du papier, la forme de l'écriture, la couleur de l'encre, etc.) pour en établir l'authenticité et la provenance, avant même de s'intéresser au contenu lui-même. Cette analyse est d'autant plus compliquée que les documents utiles à l'historien sont très nombreux :

> [...] on peut assurer aujourd'hui que « tout est document », qu'il s'agisse de restes alimentaires découverts par l'archéologie, de photographies familiales ou encore de graffitis. Les archives orales et audiovisuelles jouent ici un rôle croissant[12].

La démarche critique externe, qui s'attache au support physique de l'information, peut être doublée d'une critique interne, qui s'attache à l'information apportée par le document. Dans le cas particulier des documents concernant des espaces bâtis, leur critique nécessite de pouvoir confronter les informations à la réalité de la complexité tridimensionnelle. Nous formulons donc l'hypothèse suivante :

H3. La modélisation 3D permet et encourage une démarche critique des documents.

Pour Paul Veyne, le rôle de l'historien consiste à produire un récit :

> L'histoire est un récit d'événements vrais. Aux termes de cette définition, un fait doit remplir une seule condition pour avoir la dignité de l'histoire : avoir réellement eu lieu. Admirons la simplicité trompeuse de cette définition […]. Récit de faits vrais, et non vraisemblables (comme dans le roman) ou invraisemblables (comme dans le conte). Ce qui implique entre autres que la méthode historique dont on nous rebat les oreilles n'existe pas. […] La critique historique a pour seule fonction de répondre à la question suivante que lui pose l'historien : « Je considère que ce document m'apprend ceci ; puis-je lui faire confiance là-dessus[13] ? »

Sans pouvoir nous prononcer sur l'existence ou non d'une méthode historique, l'enjeu consiste avant tout à pouvoir prouver qu'un événement historique a effectivement eu lieu. Il s'agit ensuite pour l'historien de concevoir un récit d'éléments factuels et vrais qui rende compte d'une hypothèse de déroulement de l'histoire. Nous formulons également une hypothèse à partir de ce point :

H4. L'immersion en réalité virtuelle est en capacité de produire et communiquer des récits historiques.

Enfin, le travail en histoire, comme dans toute science, s'appuie sur des théories et des hypothèses[14]. Leur forme et leur contenu dépend bien sûr des thématiques historiques étudiées, qui sont évidemment d'une échelle différente selon que l'on s'intéresse à l'histoire des guerres mondiales du XX^e^ siècle, à l'histoire de l'art ou à l'histoire des spectacles. Dans le cas de l'histoire du bâti et des usages, nous formulons l'hypothèse suivante :

H5. La modélisation permet de mettre en œuvre et de tester plusieurs théories ou hypothèses.

11 *Ibid.*, p. 26.
12 *Ibid.*, p. 27-28.
13 Veyne 1971, p. 23-24.
14 *Ibid.*, p. 161.

Archéologie et archéologie du bâti

En quoi l'archéologie est-elle différente de l'histoire ? Ces deux disciplines s'attachent à restituer l'histoire de l'Humanité mais l'archéologie est, selon Wikipedia[15] :

> [...] une discipline scientifique dont l'objectif est d'étudier et de reconstituer l'histoire de l'humanité depuis la préhistoire jusqu'à l'époque contemporaine à travers l'ensemble des vestiges matériels ayant subsisté et qu'il est parfois nécessaire de mettre au jour.

La différence entre histoire et archéologie repose donc sur la présence de vestiges matériels, que l'on obtient notamment lors de campagnes de fouilles archéologiques. L'existence de ces données matérielles permet à l'archéologie de posséder sa propre méthode de classement des événements dans le temps : la chronologie relative. Grâce à des règles issues de la géophysique (la stratigraphie), il est possible de reclasser les différents événements les uns relativement aux autres plutôt que dans un référentiel temporel absolu. Dans le cadre particulier de l'étude des vestiges archéologiques bâtis, conservés en élévation[16], la méthode archéologique prend le nom d'archéologie du bâti.

> Sous le nom d'archéologie du bâti, l'analyse stratigraphique des élévations applique le principe stratigraphique […] aux modifications dans le temps de la construction (suppressions, ajouts, remplissages, ouvertures, etc.) en définissant les « unités stratigraphiques construites », ou USC, qui concernent aussi bien des composants ou des ensembles de la construction que des enduits, et les relations entre USC : contact simple, comptage, recoupement, recouvrement, percement, arrachements ou enlèvements[17].

La source principale de ce travail est donc les vestiges eux-mêmes qui sont analysés avec précision et mis en relations avec l'ensemble des données archéologiques qui définissent l'environnement et la société en lien avec le bâti. S'agissant d'élévations de bâtiment, donc d'éléments tridimensionnels, ils ne peuvent se satisfaire complètement de représentations en deux dimensions (par des plans, coupes, élévations ou par des photographies). Nous pouvons donc formuler l'hypothèse suivante :

H6. La capacité à accéder aux vestiges numérisés en trois dimensions est un atout pour le processus de restitution archéologique.

Une méthode s'appuyant sur la troisième dimension

En s'intéressant principalement à la restitution d'architecture, la question de la perception de l'espace devient essentielle. Or, si cette perception peut avoir lieu naturellement dans l'environnement réel qui nous entoure, elle n'est souvent pas aisée sur des documents techniques ou des représentations. Les capacités de lecture d'un plan afin d'en produire une image mentale tridimensionnelle et y projeter des qualités spatiales s'acquièrent en effet avec une longue expérience. Dans un projet de restitution pluri-disciplinaire, où tous les chercheurs n'ont pas forcément l'habitude de manipuler les outils de représentation de l'architecte, des problèmes de communication peuvent donc surgir et entraver la démarche scientifique.

Nous pensons donc que l'utilisation d'outils permettant de visualiser l'espace en trois dimensions et à l'échelle, sans recours à des normes de représentations tech-

15 Cité en référence par Djindjian 2017, p. 11

16 De nombreux vestiges bâtis ne sont en effet plus visibles qu'au niveau de leurs fondations, voire de leur tranchée de fondation.

17 Djindjian 2017, p. 413.

niques (qui peuvent en outre varier d'une discipline à l'autre, architectes et ingénieurs n'ayant par exemple pas les mêmes normes) est non seulement nécessaire pour envisager les usages d'un espace, mais également pour assurer que l'ensemble des acteurs de la recherche soient en capacité d'en faire une analyse. Nous ajoutons donc l'hypothèse suivante :

H7. L'usage de la 3D encourage un travail pluridisciplinaire.

Par ailleurs, l'espace n'est pas uniquement perçu par le regard : le toucher, par exemple, joue un rôle dans sa perception et son apprentissage[18]. C'est surtout sur le rôle du mouvement et du corps situé dans l'espace dans cette perception[19] que nous souhaitons insister. C'est en effet en parcourant en lieu que l'on peut en saisir le volume, l'organisation ou les dimensions. « Parcourir » impose donc de pouvoir se déplacer dans un environnement en trois dimensions, et ce le plus naturellement possible. Cette prise en compte du mouvement permettrait ainsi une meilleure compréhension des volumes et architectures restitués, tant pour les chercheurs, que pour le grand public. Formulons ainsi une dernière hypothèse :

H8. Le mouvement encourage et permet la compréhension de l'espace.

18 Hatwall 1986.
19 Lenay *et al.* 2001.

Vers une rétro-architecture, définition

La méthode traditionnelle de re-conception d'outils techniques du passé s'appelle la rétro-ingénierie, ou *reverse engineering*. Florent Laroche nous apporte la définition de cette discipline :

> De façon générale, le *Reverse Engineering* consiste en l'analyse de produits et d'objets pour en retrouver les techniques d'élaboration et de fabrication qui ont permis de les construire, ou dans le but d'en dévoiler les secrets, afin d'en identifier les faiblesses et les exploiter. […] L'objectif encouru est toujours le même : capturer les données géométriques d'un objet et les transformer en données informatiques. Ces données (nuages de points) sont ensuite analysées, et traitées, ce qui permettra de donner vie à une représentation tridimensionnelle virtuelle de l'objet analysé. Le but est souvent de retrouver un modèle CAO[20] orienté procédé ou fonctionnel[21].

Remarquons d'emblée que cette définition suppose l'existence de l'objet physique que l'on cherche à étudier, tandis que dans le cas de restitutions architecturales historiques, cet objet physique n'est accessible que par des traces qu'il aurait laissées : vestiges archéologiques, iconographie, relevés, etc.

Il est possible de définir la rétro-conception comme « un processus de passage d'un niveau d'abstraction à un autre[22] ». Il s'agit en effet dans la plupart des cas de passer d'un produit concret, celui sur lequel doit être réalisée l'opération de rétro-conception, à une représentation abstraite qui permet d'améliorer la compréhension du produit. Il s'agit bien du processus inverse du processus de conception, pour lequel le point de départ est une idée abstraite et l'objectif à atteindre est un produit physique.

Il est possible de s'appuyer sur cinq niveaux d'abstractions différents, qui caractérisent la connaissance d'un produit et il est également possible d'appliquer cette connaissance à une architecture[23] :

— Le niveau objectif, représentant le contexte d'un produit et son objectif. En architecture, on parle également de contexte d'un bâtiment pour exprimer à la fois son insertion dans un site, mais également l'environnement culturel et social dans lequel il s'insère. L'objectif du bâtiment peut être lié à l'habitat (abriter des personnes), aux services (permettre de visualiser un film pour un cinéma), à l'industrie, etc. ;
— Le niveau conceptuel définit un produit à partir des informations déduites de son objectif. En architecture, le concept d'un bâtiment est autant lié à son fonctionnement qu'aux principes fondamentaux qui régissent son agencement spatial. Les questions d'ordonnancement liées aux styles architecturaux sont donc de l'ordre du concept, qu'il s'agisse de styles classiques, postmodernes, modernes, déconstructivistes, etc. ;
— Le niveau fonctionnel détaille la fonction d'un élément. En ingénierie il peut s'agir par exemple pour un élément de transmettre un couple via une denture. En architecture, les fonctions peuvent être regroupées en trois catégories, à savoir les fonctions structurelles, les usages pratiques et les usages sociaux ;
— Le niveau logique représente les algorithmes et comportements. Pour les fonctions structurelles du bâtiment, ce niveau est identique à un produit

20 Un modèle « CAO » est un modèle de Conception Assistée par Ordinateur, c'est-à-dire une représentation tridimensionelle numérique de l'objet, des mouvements de ses composants et de leurs fonctions.
21 Laroche 2017.
22 Ouamer Ali *et al.* 2015.
23 *Ibid.*

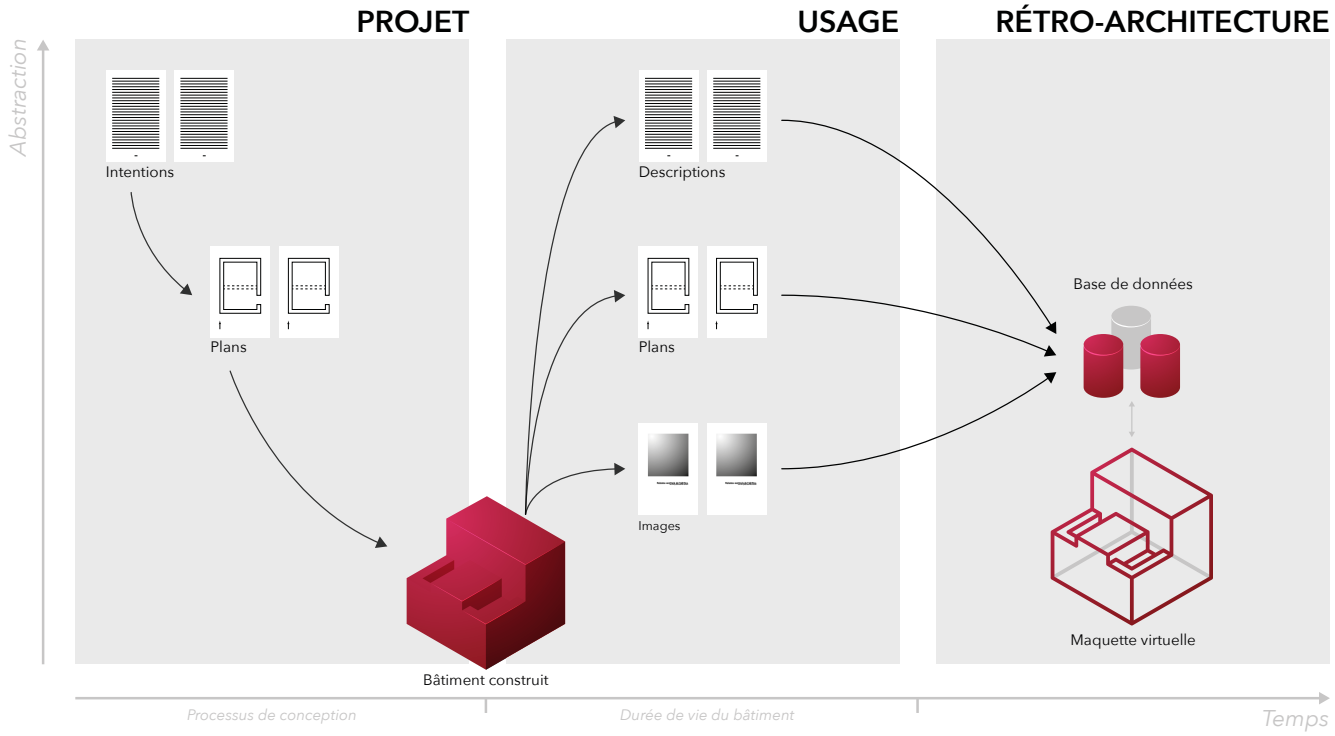


Fig. 38. **Principe de la rétro-architecture et insertion dans le cycle de vie d'un bâtiment.**

d'ingénierie. Pour les usages, cependant, il s'agit d'une rationalisation des propriétés de l'espace afin de répondre à ces attentes : acoustique particulière dans une salle de spectacle, possibilité de faire entrer les décors sur une scène ou espace pour permettre des échanges sociaux ;

— Le niveau physique incarne le niveau le plus concret et ses informations géométriques. En architecture, il s'agit du bâtiment construit, dont la forme et les détails résultent tout à la fois des quatre niveaux précédents, mais aussi de la phase de réalisation et d'éventuels aléas de chantier.

Réaliser un processus de rétro-conception architecturale consiste donc à pouvoir remonter tous ces niveaux depuis le niveau physique jusqu'au niveau objectif, en les complétant, pour obtenir une représentation complète de l'architecture étudiée. La rétro-ingénierie consiste cependant en l'étude d'un objet physique existant, qu'il est possible de manipuler et dont il est possible d'obtenir de nombreuses informations (nuage de points, radiographies, mesures physiques diverses). Cette même méthode se heurte dans le cas de l'étude de bâtiment historique à un problème de poids : les bâtiments ont souvent disparu ou sont sévèrement endommagés.

Dès lors, ce n'est pas grâce à l'étude de l'objet lui-même que peut être entreprise la rétro-architecture, mais grâce à l'étude des traces que cet objet a laissées dans le temps (*Fig. 38*). Certaines de ces traces sont tangibles, comme les vestiges archéologiques d'un bâtiment, par exemple, d'autres sont intangibles : représentations, descriptions ou souvenirs par exemple. C'est cet aspect qui distingue donc principalement les processus de rétro-conception en ingénierie de ce que nous nommons rétro-architecture et que l'on définit comme suit :

Rétro-architecture : processus d'analyse de traces d'un bâtiment disparu pour en produire un modèle numérique le plus fidèle possible au regard des différents niveaux d'abstraction. Il s'appuie en outre sur l'expérience et l'usage dans ce modèle numérique.

Décomposition de la méthode

Puisque nous avons défini la rétro-architecture, principalement en nous appuyant sur la définition de la rétro-ingénierie et sur les différences avec celle-ci, cherchons à présent à élaborer une méthode de travail adaptée. Celle-ci doit tenir compte de nos hypothèses et concepts formulés précédemment, au regard notamment des méthodes de travail des historiens ou des archéologues. Pour rappel, si nous pouvons nous baser sur des sources précises pour la définition de ces méthodes, nous nous basons également sur notre propre expérience, acquise grâce à des projets communs avec ces deux professions.

Concernant la méthode de rétro-architecture, celle-ci s'appuie sur six phases dont cinq forment un cycle qui pourrait se répéter à l'infini mais qui s'arrête lorsque l'ensemble des parties prenantes a atteint l'objectif fixé par la restitution (*Fig. 39*). La définition de cet objectif est donc la première étape. Elle est suivie par une phase de collecte de sources, puis de contextualisation de ces sources. Ces différents documents sont ensuite recoupés et analysés en vue de produire un modèle numérique lors de la phase de modélisation. Ce modèle numérique est ensuite l'objet d'une visite virtuelle par les experts.

La visite virtuelle, et éventuellement la phase de modélisation qui la précède, sont à même de faire jaillir de nouvelles questions de recherche pour les chercheurs du projet. Pour répondre à ces questions, pour peu qu'elles ne sortent pas des objectifs fixés en amont par le travail, il faut démarrer un nouveau cycle à partir de la collecte de sources. Les différentes itérations ne sont pas nécessairement liées aux niveaux d'abstraction précédemment définis. Chaque itération traduit l'état de compréhension du système bâti à un moment donné, que ce soit à un niveau physique ou conceptuel.

Objectifs et propos de la restitution

Avant d'entreprendre toute recherche proprement dite, il convient dans un premier temps de fixer les objectifs de cette recherche. D'une part parce que la rétro-architecture suppose la conception d'un modèle numérique, ce qui n'est pas systématiquement adapté à un projet de recherche, d'autre part parce qu'il existe de nombreuses formes de tels modèles. Or, ces différents types de modèles nécessitent des compétences, des ressources matérielles et des données différentes. Les objectifs sont en outre conditionnés par les moyens à disposition pour l'acquisition des données et leur traitement.

Un modèle tridimensionnel de type filaire, c'est-à-dire qui présente des volumes sans aucune texture, nécessitera peu de ressources informatiques et des compétences de base en terme de modélisation 3D et d'infographie. À l'autre extrémité du spectre, un modèle présentant des éclairages complexes et des textures réalistes nécessitera non seulement des ordinateurs puissants (tant pour la réalisation que pour la visualisation) et des compétences avancées en infographie. Ces deux modèles ne s'adressent pas aux mêmes publics et ne traitent pas des mêmes questions. Dans tous les cas, et puisque la méthode que nous proposons repose sur l'usage de la réalité virtuelle immersive, l'accès à du matériel permettant l'immersion devrait être envisagé (casque de réalité virtuelle et ordinateur permettant de le contrôler).

Par ailleurs, les moyens déterminent également les capacités en terme de numérisation. Dans le cadre d'un travail en histoire, principalement basé sur des sources écrites ou des images, il s'agit d'avoir accès à des fonds d'archives et de les numériser. L'accès à des fonds spécifiques peut nécessiter des ressources particulières, lorsque

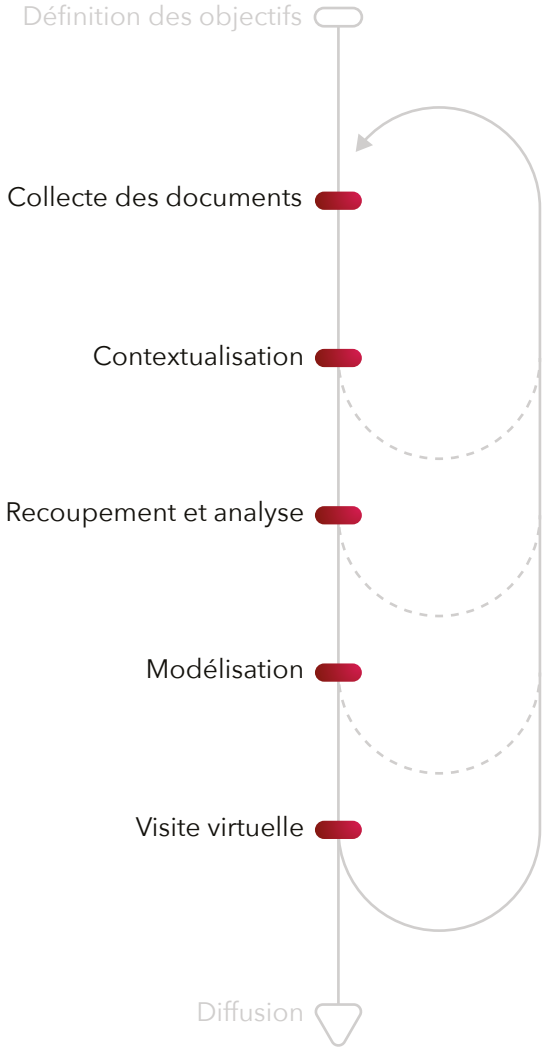


Fig. 39. **Les différentes étapes du cycle de la rétro-architecture.**

ceux-ci sont conservés dans des bibliothèques à l'étranger par exemple, de même que l'achat des droits de numérisation le cas échéant. Dans le cadre d'un travail archéologique, appuyé sur des vestiges, la phase d'acquisition des données peut nécessiter une fouille archéologique, tandis que la numérisation elle-même peut nécessiter des moyens parfois coûteux (scanner laser par exemple), ou des autorisations spécifiques parfois très difficiles à obtenir (drones ou cerf-volant au Moyen-Orient par exemple). En considérant ces aspects, les objectifs du projet en terme de rendu, de précision et d'usage doivent donc pouvoir être orientés. Il serait par exemple difficile de réaliser une maquette d'un bâtiment à partir de plans conservés dans un fonds d'archives sans avoir accès à une version en haute définition de ces plans (voir à ce sujet le chapitre VI).

Les ambitions scientifiques du projet de restitution restreignent l'étendue d'un projet de restitution qui pourrait, sinon, s'étendre de manière quasi-infinie. Il peut s'agir évidemment d'une restriction dans le domaine temporel et spatial (se limiter par exemple à la restitution d'un bâtiment d'une époque particulière, dans une emprise spatiale donnée), limitant à la fois l'étendue de la recherche documentaire, mais également le temps de modélisation pour couvrir toutes les évolutions d'un bâtiment au cours de sa vie. Il peut également s'agir de restrictions du niveau de détails (pour un ensemble de grande dimensions, comme un quartier, le niveau de chaque composant individuel pourra être moins élevé), ou de l'usage que l'on prévoit. Dans le cas de l'étude de machines au sein d'un bâtiment, on pourra par exemple se limiter à des modèles filaires pour en étudier le fonctionnement mécanique.

Comme pour tout projet, cette phase doit donc permettre de dégager un cahier des charges explicitant les moyens, les délais, les attendus et le rôle de chaque participant. L'existence d'un tel cahier des charges, qui doit formuler clairement la question scientifique à laquelle tente de répondre le processus de rétro-architecture, est essentielle afin de pouvoir interrompre les itérations de ce processus. Ce document oriente, en outre, la phase de collecte de sources en ciblant le type de données nécessaires à la réalisation du travail.

Collecte des documents

Cette seconde phase du processus, mais première phase du cycle, vise à accumuler la documentation nécessaire aux autres étapes. Nous prenons le terme de « document » dans le sens de « ce qui apporte un enseignement, une preuve[24] », ces documents peuvent donc prendre la forme d'une feuille de papier inscrite ou d'un monument. Le détail de l'identification des documents utiles à la réalisation d'un modèle numérique est propre à chaque projet et nous n'aborderons donc pas ici cette question. Tout au plus, il convient de préciser l'étendue des documents capables d'apporter des informations sur la spatialité d'un lieu. Nous proposons à cet effet de diviser ces documents en deux catégories principales : les données historiques et les données archéologiques. Les données archéologiques sont celles qui sont issues de l'analyse des traces tangibles laissées par un bâtiment et son usage, tandis que les données historiques sont des représentations (sous la forme d'un écrit, d'un plan ou d'une image) ou des traces intangibles (événements, comptes, impact social, etc.).

Parmi les documents historiques, citons :

— Les plans et documents d'architecte : réalisés afin de permettre la construction d'un bâtiment ou *a posteriori* pour rendre compte d'un bâtiment existant ou de ses modifications ;
— Les représentations graphiques : créées pour rendre compte d'un projet avant sa réalisation, ou d'un lieu une fois construit, elles prennent la forme de

24 TLFI, « Document ».

gravures, peintures, croquis, etc. qui parfois sont très proches de la notion de plan ;
— Les photographies : apparues tardivement, elles fournissent des informations *a priori* non biaisées sur leur sujet[25] ;
— Les documents administratifs : rapports, comptes, autorisations, documents législatifs ou judiciaires viennent rendre compte de l'usage d'un bâtiment ;
— Les descriptions : la presse, les échanges épistolaires, les romans peuvent contenir des descriptions des lieux et des espaces ;
— Les évocations : la production littéraire d'une époque, par exemple, peut évoquer les usages présents au sein d'un lieu spécifique.

Parmi les documents archéologiques, nous pouvons citer :
— Les documents propres à la pratique de l'archéologie : rapport de fouilles, plans de vestiges, documents administratifs qui peuvent être traités comme les données historiques ;
— Le mobilier archéologique : prenant une multitude de formes, depuis les restes de faune jusqu'aux objets du quotidien conservés en passant par le contenu d'une sépulture, il caractérise l'usage d'un lieu ;
— Les vestiges d'archéologie du bâti : traces de constructions conservées en élévation, ils renseignent directement sur la forme et la disposition de la partie conservée tout en offrant une base solide à des interprétations de restitution.

La documentation ainsi accumulée doit permettre de répondre à un ensemble de questions définissant l'objet de la restitution. Quelle était la forme du lieu ? À quel usage était-il destiné ? Qui le fréquentait ? À quelle date fut-il construit, modifié ou détruit ? Les réponses apportées par les documents permettront de produire un modèle tridimensionnel de restitution complet.

La numérisation de ces documents, dans les standards liés aux disciplines concernées, doit être entreprise. Elle est essentielle pour permettre un accès aisé à l'ensemble de la documentation pendant la phase de projet, mais également lors de la phase d'immersion puisqu'il n'est possible de visualiser en réalité virtuelle que des données qui ont fait l'objet d'une numérisation. Cette injonction que nous fixons pose immédiatement deux questions : comment numériser ces documents et comment stocker et permettre la consultation des données issues de la numérisation ?

Numérisation

La numérisation des documents est une tâche qui ne peut se satisfaire d'une solution unique en raison de la diversité des documents et des pratiques professionnelles. La numérisation des documents historiques (grâce aux scanners ou à la photographie) est un processus répandu sur lequel il n'est pas nécessaire de s'étendre. En revanche, les documents écrits devraient pouvoir faire l'objet d'une transcription lorsque cela est possible afin de pouvoir rendre possible des traitements informatiques et la recherche dans le texte. Si le passage de documents imprimés par un algorithme d'OCR permet d'obtenir la transcription de ce type de texte, les textes manuscrits posent problème. De petits volumes de textes peuvent être transcrits manuellement, mais de gros volumes de données peuvent nécessiter le recours aux méthodes de science participative et de *crowdsourcing*[26].

La numérisation des documents archéologiques doit pouvoir s'adapter au type d'objet et aux informations utiles à conserver. La numérisation d'une céramique

25 Il convient néanmoins de moduler cette assertion : la photographie, comme tout art, est un moyen d'expression qui permet de faire passer un message. Elle est en outre l'objet, depuis sa naissance, de montages qui déforment la réalité.

26 Le projet RECITAL, « Registres de la Comédie-Italienne », est un bon exemple de ce type de processus. Il s'agit de proposer au grand public de participer à la transcription de plus de vingt-cinq mille pages de registres de comptes de la Comédie-Italienne au XVIII[e] siècle. Le projet a été créé par Françoise Rubellin et Guillaume Raschia.
www.recital.univ-nantes.fr

pourrait, par exemple, se limiter à la conservation de son profil à l'échelle, une donnée centrale pour les céramologues. Pour les objets en trois dimensions, la numérisation s'entend en général sous la forme de la création d'un nuage de points ou d'un maillage, à l'échelle, en conservant couleurs et parfois textures de l'objet.

Parmi la multitude de méthodes permettant d'obtenir une représentation numérique tridimensionnelle d'un objet[27], deux méthodes sont particulièrement et couramment utilisées en archéologie, comme nous l'avons vu dans notre état de l'art : la lasergrammétrie et la photogrammétrie. L'une comme l'autre de ces méthodes nécessitent une certaine expertise dans le maniement du matériel ou des logiciels associés, mais également dans l'usage des données produites, qui sont parfois très volumineuses. Les données 3D produites peuvent ensuite être utilisées par les outils traditionnels de l'architecte, qui sont à même de gérer, pour la plupart, aussi bien des nuages de points que des modèles maillés.

Stockage et consultation

Le stockage et la conservation des données numériques est un champ de recherche actif, alors même que l'on se rend compte de l'extrême volatilité des documents au format numérique (en raison de défaillance technique, de suppressions involontaires, ou de l'obsolescence des formats de fichiers). L'archivage numérique à long terme est donc un enjeu pour lequel des solutions existent[28], mais qui dépasse le cadre de la rétro-architecture : nous cherchons en effet un moyen de stockage de données permettant l'accès à l'ensemble des documents pour tous les chercheurs du projet et ce depuis n'importe où.

Si le stockage des données numériques dans en ligne est une pratique de plus en plus courante, elle ne permet pas néanmoins d'associer des métadonnées qui renseignent le contexte de chacun des documents. Or, ces métadonnées sont cruciales dans les étapes suivantes de notre processus. Dès lors, nous proposons préférentiellement le recours à un espace de stockage en ligne associé à une base de données patrimoniale. Des solutions de ce type existent déjà : nous détaillerons par exemple le recours à une base Omeka dans le contexte de notre solution au chapitre V.

Si l'enregistrement et l'affichage au sein d'une base de données de documents numériques issus de la numérisation en deux dimension sont une tâche aisée (il s'agit souvent d'images), il n'en va pas de même pour les données 3D. Celles-ci se caractérisent souvent par leur poids important et leur gourmandise en termes de ressources de calcul, qui peut interdire parfois leur visualisation sur des postes informatiques conventionnels. Il conviendra alors de définir l'éventuelle co-existence de modèles dégradés, permettant un partage facile tout en restant suffisamment définis pour la majorité des usages, avec un modèle complet qui sera plutôt dédié à l'archivage numérique.

Contextualisation des documents et du projet

Une fois les documents acquis et numérisés et avant même de procéder à l'analyse de leur contenu, il convient de procéder à leur contextualisation. Cette étape consiste à comprendre le contexte dans lequel les documents que nous sommes amenés à étudier ont été produits, à pouvoir comprendre les éventuels biais que cela crée dans leur interprétation, ou à juger de l'importance relative à leur apporter.

27 Laroche 2017, p. 116-119.

28 Pour le cas particulier des données liées à un projet de restitution 3D, on peut notamment citer le Conservatoire National des Données 3D, à cette adresse :
http://www.humanities.science

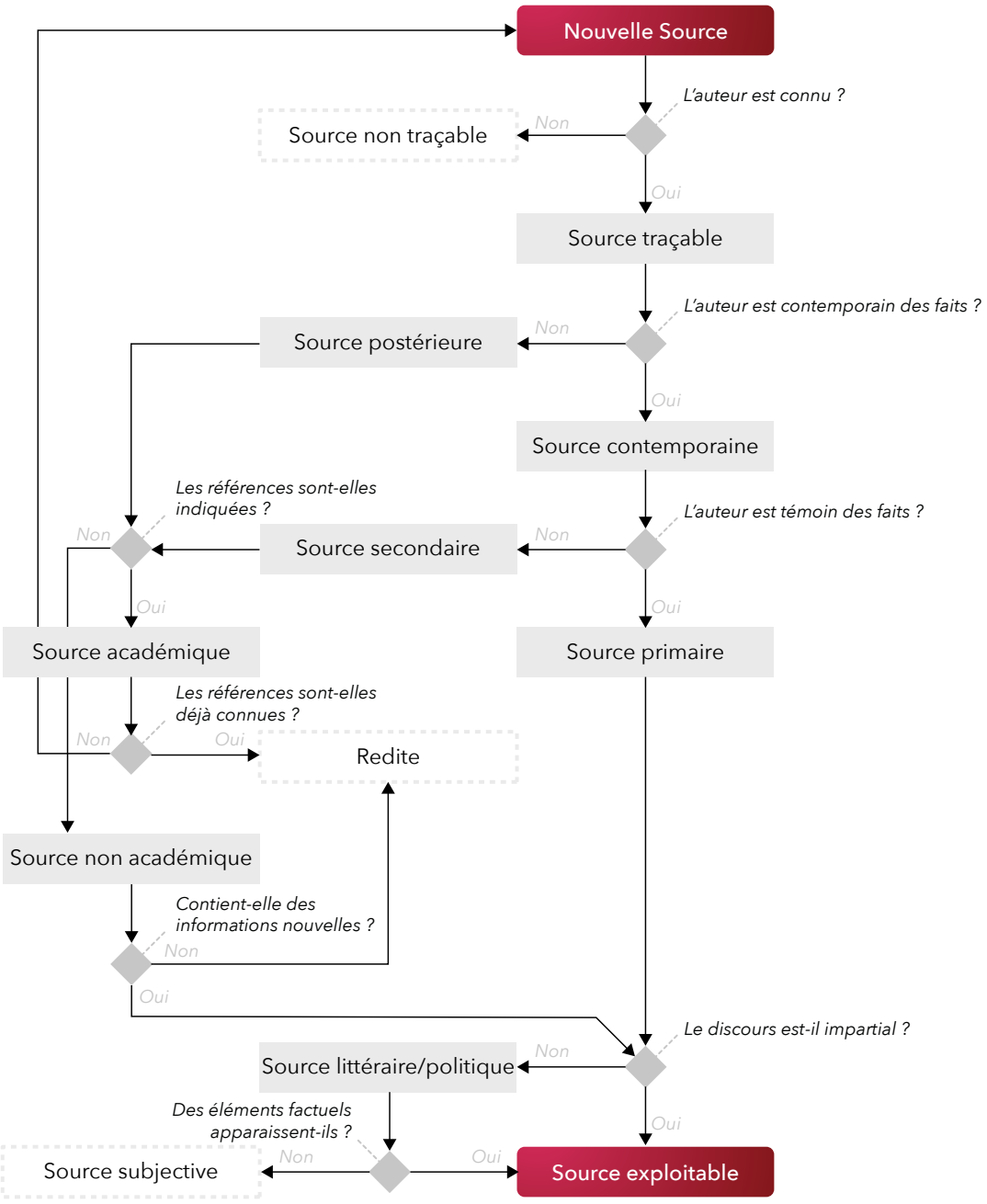


Fig. 40. **Processus d'analyse de la qualité d'une source documentaire.**

Cette phase de contextualisation peut s'effectuer dans un premier temps sur l'objet même de la restitution, en s'intéressant au contexte qui prévalait à sa construction et à son usage. Planter correctement le contexte du projet, qu'il s'agisse d'un contexte historique, culturel, social ou spatial, nécessite de chercher des documents qui permettent de restituer ce contexte. D'une certaine manière, il s'agit d'un « sous-projet » de restitution et à ce titre il peut également utiliser la méthode de rétro-architecture.

Concernant le contexte des documents eux-mêmes, et particulièrement des documents historiques, l'intérêt est principalement de pouvoir identifier quel crédit leur accorder. On préfèrera par exemple les sources de première main à celles qui recopient d'autres auteurs (que ce soit pour des documents écrits ou graphiques), les sources contemporaines à celles qui sont postérieures aux faits, etc. Pour déterminer si une source ou un document est exploitable, il est possible de suivre une procédure comme celle que nous avons mis en place, grâce à notre expérience de travail avec des chercheurs en histoire, et résumée sous la forme du schéma ci-contre (*Fig. 40*). On comprend alors la nécessité de conserver les métadonnées liées aux sources, qui permettent d'établir rapidement la chronologie des sources ou les rapports entre les auteurs. En outre, si une source n'est pas exploitable directement, elle renseigne sur l'histoire de l'élément à restituer, et devrait donc rester dans la base de données, sans toutefois servir à la restitution elle-même.

Recoupement et analyse

L'ensemble des documents fiables et contextualisés étant défini, il est maintenant possible de s'atteler à leur recoupement et à leur analyse. Il s'agit dans un premier temps de croiser les informations provenant de diverses sources, afin de mettre en évidence les points communs et les éventuelles incohérences entre les documents. Si les points communs permettent d'avancer rapidement vers la modélisation, les incohérences nécessitent néanmoins un éclaircissement. Avec quelle méthode lever ces incohérences ? La difficulté de la réponse à cette question est explicitée par Paul Veyne :

> L'histoire est affaire d'entendement ; elle ne présente que des difficultés de détail. Elle n'a pas de méthode, ce qui veut dire que sa méthode est innée : pour comprendre le passé, il suffit de le regarder avec les mêmes yeux qui nous suffisent pour comprendre le monde qui nous entoure ou la vie d'un peuple étranger[29].

L'interprétation des documents serait donc affaire de bon sens, nous laissant sans outils définis pour démêler le vrai du faux de la documentation historique. Il est vrai que cette problématique est moins présente avec la documentation archéologique, puisque face à des traces et des faits, la seule variable est celle de l'interprétation que l'on en fait. Pour la documentation historique en revanche, de nombreux éléments peuvent expliquer ces incohérences, parmi lesquels : un biais d'interprétation (lié à la différence de contexte entre la production du document et son interprétation), une erreur due à l'auteur des documents, un bais historiographique, des subtilités de l'objet à restituer lui-même, etc.

Dans le cadre de la restitution spatiale, de nombreuses incohérences peuvent être levées au moment de la modélisation puisque celle-ci, en imposant le recours à la troisième dimension, peut invalider certaines sources dont la modélisation est impossible. La modélisation 3D serait donc, à nos yeux, un moyen de mettre en concurrence deux versions incohérentes d'un même fait historique pour vérifier laquelle s'accorde mieux avec les contraintes de l'espace tel que nous les connaissons.

29 Veyne 1971, p. 146.

Encore une fois, établir les contraintes spatiales peut également demander à entamer un nouveau cycle de collecte et de contextualisation des documents.

À ce stade, donc, il est déjà possible de formuler plusieurs hypothèses de restitution de l'objet architectural étudié, qui mènent ensuite à la modélisation.

Modélisation

La modélisation n'est pas la transcription en trois dimensions d'un récit historique ou archéologique que l'on aurait compris. Il s'agit à proprement parler d'une étape de travail durant laquelle des hypothèses sont formulées (sous la forme de modèles tridimensionnels) et testées. Les différentes hypothèses issues du recoupement et de l'analyse des documents sont ainsi mises en volume. Cette phase de modélisation doit être organisée afin de s'adapter non seulement aux contraintes dictées par l'incomplétude de la documentation, mais également aux méthodes utilisées en infographie pour la production d'environnement tridimensionnels.

En effet, le temps de modélisation d'un objet est proportionnel à son niveau de détails. Or, dans les premières itérations du cycle de rétro-architecture, ce sont les composants principaux de la modélisation qu'il faut modéliser et tester : grandes masses bâties, structures principales, espaces les plus représentatifs, etc. Pour ce faire, il convient de chercher à modéliser d'abord les contraintes spatiales et architecturales qui sont assurées, soit par des vestiges archéologiques (auquel cas on pourra alors se baser directement sur la numérisation de ces vestiges) soit par une accumulation de documents dont l'analyse permet de planter avec une certaine confiance le contexte. On pourra, par exemple, croiser les plans historiques d'une ville pour établir les contraintes spatiales entourant un projet de restitution dans cette ville (voir par exemple le Chapitre V, « La Foire Saint-Germain au XVIII^e siècle »).

C'est au fur et à mesure des cycles que l'on pourra descendre dans l'échelle du projet pour s'intéresser à des sous-ensembles de plus en plus petits et ajouter des informations sur la matérialité et l'ambiance du lieu en abaissant le niveau d'abstraction. Le calcul de ces textures, éclairages, couleurs et ambiances, à supposer qu'il ait été défini comme un des objectifs de la restitution, est en effet un dispositif long et technique et sur lequel on tentera de limiter le nombre de modifications. Le recours à des textures procédurales, c'est-à-dire dont le comportement est défini par des variables et des algorithmes et non par des images sera donc à privilégier. Il permet de modifier la morphologie d'un objet tout en conservant son aspect, alors que dans le cadre de la création de textures en utilisant le développement UVW (c'est-à-dire un processus qui associe à chaque triangle d'un maillage une partie d'une image) traditionnellement utilisé dans les jeux vidéos, toute modification de l'objet impose la recréation des textures.

La création du modèle doit être impérativement accompagnée d'un registre permettant de tenir compte des relations existantes entres les modèles réalisés en trois dimensions et les sources contenues dans la base de données. Nous reviendrons dans le chapitre VI sur la forme que peut prendre ce registre dans la base de données, en s'appuyant notamment sur la notion d'objet alias[30] que nous développerons. Parallèlement et en complément, il est important de pouvoir identifier quel est le niveau d'incertitude associé à la modélisation.

30 Nous empruntons le mot alias non à son origine latine signifiant « autrement », mais bien à son interprétation en information : il s'agit d'un système permettant la redirection (« alias » est l'équivalent du raccourci Windows sur Mac OS, ou un dispositif permettant la redirection des mails).

Gestion de l'incertitude

Un des enjeux principaux des restitutions archéologiques et historiques, et de manière générale de toute modélisation scientifique, est de savoir avec quelle précision le modèle obtenu est proche de la réalité. Cette précision est définie comme étant l'incertitude. D'après le *Vocabulaire International de Métrologie*[31], l'incertitude est la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées à une grandeur. Pour adapter cette définition au domaine de la modélisation et de la restitution tridimensionnelle, on s'interrogera sur les « grandeurs » qui sont manipulées et créées dans ce domaine. Cinq catégories de grandeurs sont manipulées pour la création d'un objet : les grandeurs dimensionnelles, morphologiques, de localisation, d'apparence et de temporalité[32].

Imaginons que nous souhaitons restituer une boule de cristal présente dans un cabinet de curiosités du XVIII^e^ siècle, nous devons alors nous intéresser à l'ensemble de ces grandeurs :

— Grandeur dimensionnelle : quelle est la dimension de l'objet ? Il s'agit dans notre cas de définir l'incertitude concernant le rayon de la sphère formant la boule de cristal, ou sa hauteur, sa largeur et sa profondeur ;
— Grandeur morphologique : quelle est la forme de l'objet ? Bien qu'elle puisse être approchée par une sphère, la boule de cristal possède probablement des irrégularités surfaciques ;
— Grandeur de localisation : quelle est la position de cet objet ? La boule de cristal pouvait être posée sur la cheminée ou sur une table de ce cabinet de curiosités, et à chacun de ces emplacements, d'infinies possibilités existent. Quant au cabinet de curiosités lui-même, son emplacement n'est pas forcément parfaitement connu ;
— Grandeur d'apparence : quelle est l'apparence de l'objet ? La texture de l'objet dépend de très nombreux facteurs : la rugosité de sa surface, sa couleur, ses propriétés optiques, chacune dépendant de plusieurs paramètres. La boule de cristal aura ainsi des aspects selon la pureté du matériau qui la compose, sa capacité à réfléchir et à réfracter la lumière, mais aussi la qualité du polissage ;
— Grandeur de temporalité : l'objet existait-il à la date fixée pour la restitution, et si oui, dans quel état ? Si la restitution du cabinet contenant la boule de cristal est fixée à la date de 1750, par exemple, il faut s'assurer que la boule était présente à cette époque.

Cet exemple simple montre la multiplicité des facteurs d'incertitude pour la restitution d'un simple objet dans un environnement connu. Traditionnellement, cette incertitude est exprimée comme une variation autour d'une valeur numérique, nommée incertitude absolue : une sphère pourrait avoir un diamètre de 15 cm ± 0,1 cm signifiant que le diamètre réel de cet objet est compris entre 14,9 et 15,1 cm. L'incertitude peut également être relative, et s'exprimer comme le rapport de l'incertitude absolue sur la valeur théorique : la même sphère a une incertitude relative de 1,3% sur son diamètre.

Malheureusement, ce type d'incertitude n'est pas applicable aisément au domaine de la restitution tridimensionnelle historique pour la bonne raison qu'il nécessite un étalonnage, c'est-à-dire de pouvoir établir au moyen de protocoles les erreurs introduites par les mesures et les interprétations. Il s'agirait dans le domaine qui nous intéresse de chercher à restituer, par exemple, un bâtiment historique parfaitement connu à un instant précis au moyen de documents historiques (descriptions, plans, représentations, etc.) et de comparer la modélisation obtenue avec le bâtiment réel. Une telle entreprise ne peut être réalisée que par la pensée et l'on conçoit bien qu'elle ne peut mener qu'à des valeurs très importantes. Pour s'en convaincre, il suffit de

31 JCGM 2012.
32 Favre-Brun 2013, p. 130.

penser à la description de la couleur d'un objet qui pourrait être transmise par un texte : la description d'une peinture « bleue » n'est que d'une précision très faible au regard de l'infinité des nuances de cette couleur.

Afin de remédier à ce problème, Sorin Hermon[33] a proposé d'introduire les principes de la logique floue dans l'attribution du « degré de fiabilité » sur la restitution d'un objet. La logique floue est un concept né dans les années 1960 reposant notamment sur l'idée que la définition de l'appartenance d'un élément à une classe précise n'est pas toujours établie de manière stricte :

> More often than not, the classes of objets encountered in the real physical world do not have precisely defined criteria of membership. For example, the class of animals clearly includes dogs, horses, birds, etc. as its members, and clearly excludes such objects as rocks, fluids, plants, etc. However, such objects as starfish, bacteria, etc. have an ambiguous status with respect to the class of animals. The same kind of ambiguity arises in the case of a number such as 10 in relation to the « class » of all real numbers which are much greater than 1. Clearly, the « class of all real number which are much greater than 1 », or « the class of beautiful women », or « the class of tall men », do not constitute classes or sets in the usual mathematical sense of these terms. Yet, the fact remains that such imprecisely defines « classes » play an important role in human thinking, particularly in the domains of pattern recognition, communication of information, and abstraction[34].

Quant au degré de fiabilité, il s'agit pour Hermon d'un nombre subjectif, établi en 0 et 1 par le modélisateur, qui rend compte de la fiabilité d'un élément. Une note de 0 correspond à un élément non fiable, tandis qu'une note de 1 correspond à un élément parfaitement fiable. L'auteur associe cet indicateur avec un indicateur d'importance par rapport au modèle restitué, également entre 0 et 1, où 0 est un élément insignifiant du modèle tridimensionnel, et 1 est un élément capital. La présence de ces deux indicateurs permet d'ores et déjà des situations problématiques, comme des éléments très importants mais avec une fiabilité très faible : de tels éléments devront faire l'objet d'une attention particulière pour tenter d'augmenter autant que possible la fiabilité. Dans ces deux intervalles, les valeurs se répartissent comme suit :

— de 0 à 0,1, insignifiant ;
— de 0,2 à 0,4, à peine important ;
— de 0,5 à 0,7, significatif ;
— de 0,8 à 1,0, très important.

Attitude face à l'incertitude

En attribuant ces valeurs à chacun des objets ou groupes d'objets qui composent la scène, il est possible de calculer un indice de fiabilité pour chaque objet, et ensuite pour l'ensemble de la restitution. Cet indice global permet de comparer entre eux deux modèles ou deux hypothèses de restitution. Il nous semble cependant que l'intérêt d'une telle notation réside également dans son pouvoir de guidage du chercheur lors de la réalisation de la modélisation. Un des aspects clés de la modélisation est également la complexité du modèle produit pour deux raisons : la première est d'ordre logique, la seconde d'ordre technique. Le principe du Rasoir d'Ockham, en latin *pluralitas non est ponenda sine necessitate*[35], pourrait s'exprimer aujourd'hui comme « les hypothèses suffisantes les plus simples doivent être préférées ». Dès lors on préfèrera de manière générale les hypothèses les plus simples, surtout lorsqu'elles ne sont pas fiables. D'autre part, la raison technique tient dans la complexité de

33 Hermon *et al.* 2006.
34 Zadeh 1965.
35 Guillaume D'Ockham 1319 : *Quaestiones et decisiones in quatuor libros Sententiarum cum centilogio theologico*, livre II. Littéralement : les multiples ne doivent pas être utilisés sans nécessité.

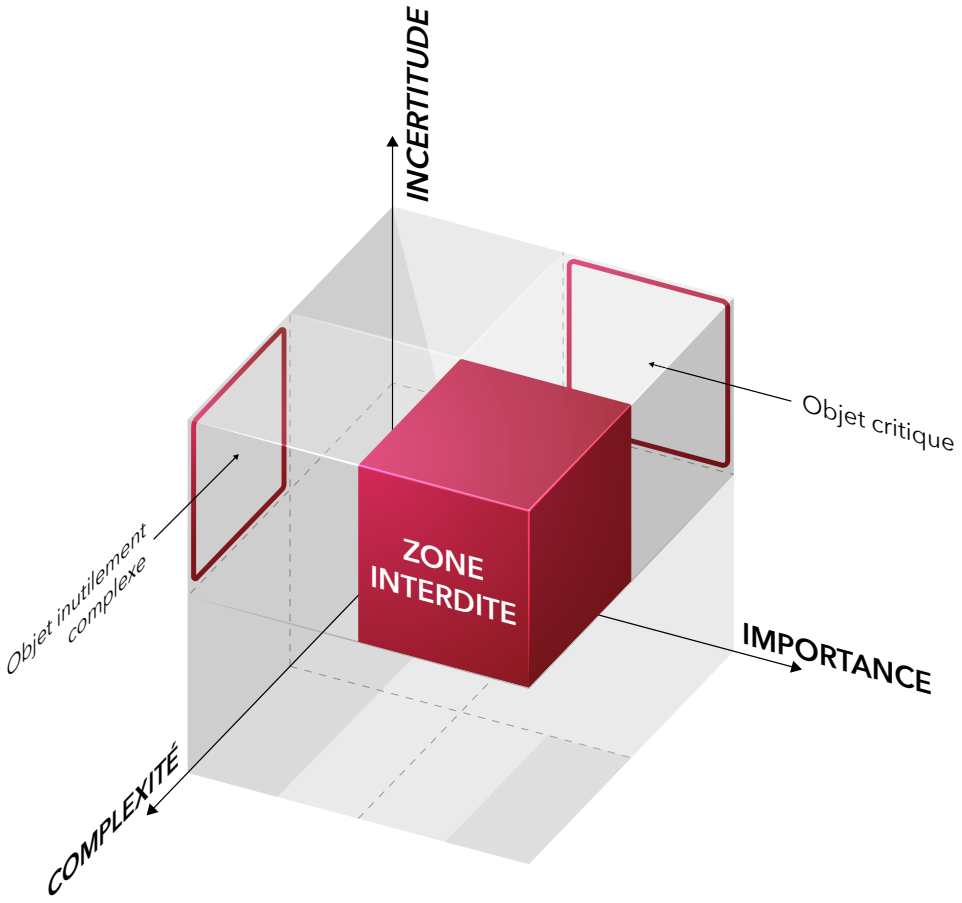


Fig. 41. L'espace Incertitude, Importance et Complexité et ses différentes subdivisions.

création et d'affichage de certains objets. Les ressources humaines lors de la conception et les ressources informatiques lors de l'affichage étant limitées, il est important de s'assurer que la complexité d'un objet répond à un besoin réel. La complexité de l'objet restitué pourrait également être évaluée sur une échelle de 0 à 1 comme les deux critères précédents.

Chaque objet pourrait donc subir la triple notation Incertitude, Importance et Complexité. Nous préférons en effet la notion d'incertitude qui vaut I = 1 - F (où F est la fiabilité) car l'espace tridimensionnel ainsi produit permet de mieux mettre en évidence certains cas critiques. En divisant cet espace mathématique en huit, on peut en effet obtenir huit cas typiques (*Fig. 41*). Parmi eux, trois sont à éviter :

— Forte incertitude, forte importance et faible complexité : il s'agit d'un objet critique mais peu documenté, des erreurs sur sa modélisation pourraient avoir des conséquences importantes sur le reste du modèle. Bien que l'on cherche à éviter un tel cas, il est souvent présent et ne peut être complètement contourné et c'est sur ces cas que l'essentiel des recherches doit être dirigé ;

— Forte incertitude, faible importante et forte complexité : il s'agit d'un objet peu important dont le modèle est probablement trop complexe au regard des données réelles existantes ;

— Forte incertitude, forte importance et forte complexité : objet critique peu documenté mais pourtant complexe, il cumule les défauts des deux catégories précédentes.

Cinq autres cas sont quant à eux possibles :

— Faible incertitude, forte importance, faible complexité : ces objets sont à modéliser en premier parce qu'ils permettent de cadrer l'ensemble de la scène avec des éléments simples et sûrs ;
— Faible incertitude, forte importance, forte complexité : ces objets techniques doivent être modélisés avec soin et étudiés en détail car leur complexité est source d'erreurs qui pourraient être dommageables à l'ensemble du modèle ;
— Faible incertitude, faible importance, forte complexité : de tels objets sont souvent responsables de l'aspect esthétique (comme la décoration) et jouent un rôle non négligeable dans la perception globale d'une scène, sans être pour autant décisifs ;
— Faible incertitude, faible importance, faible complexité : ces objets ont peu d'impact sur la réalisation de la scène, son affichage et son fonctionnement, comme les précédents ils peuvent être modélisés dans un second temps ;
— Forte incertitude, faible importance, faible complexité : il s'agit principalement d'objets qui influent sur la perception de l'image globale en rendant compte de la fonction ou du contexte d'un espace (arbres dans un paysage, objets divers sur une table, etc.) mais dont la configuration précise est inconnue.

Affichage de l'incertitude

Si la perception de l'incertitude des objets est, on l'a vu, utile au concepteur pour permettre de mieux orienter la recherche et la modélisation, elle est également utile à ceux qui visualisent la modélisation. De nombreuses expériences ont permis de mettre en évidence des approches différentes avec des bénéfices différents concernant la manière d'afficher la méconnaissance d'un objet pourtant représenté dans une restitution[36]. En effet, si l'esprit peut tout à fait s'accommoder d'informations incomplètes et d'images floues, les logiciels de modélisation tridimensionnelle nécessitent de modéliser avec précision les objets. Le risque est donc grand de véhiculer une image qui serait vue comme une restitution parfaitement sûre, alors même que beaucoup d'éléments relèvent de la pure hypothèse.

Plutôt que de nous appuyer sur des informations visuelles directes qui pourraient venir perturber le sentiment de présence dans la restitution, nous avons fait le choix de nous appuyer particulièrement sur la capacité du visiteur en réalité virtuelle à visualiser les sources et les hypothèses réalisées sur celles-ci directement en immersion. De plus, nous avons mis en place une expérience utilisateur qui met en évidence, autant que possible, les zones d'incertitude dans le modèle. Il reste néanmoins possible d'imaginer, dans un mode spécifique, l'affichage des données relatives à l'incertitude qui seraient directement stockées dans la représentation de l'objet dans la base de données : représentation que l'on nomme objet alias.

Visite virtuelle par les experts

Une fois une hypothèse de restitution produite, l'étape suivante consiste à la mettre à l'épreuve des experts. Traditionnellement, il s'agit de discuter avec les experts autour de représentations du modèle restitué, sous la forme d'images en deux dimensions ou de documents architecturaux comme des plans et des coupes. Dans la rétro-architecture, cette étape consiste au contraire à faire l'expérience de la restitution grâce à la réalité virtuelle.

Qui fait l'expérience de cette restitution ? Il s'agit des experts du projet, c'est-à-dire, selon la définition du Trésor de la Langue Française Informatisé, une personne

36 Favre-Brun 2013.

« qui a acquis une grande habileté, un grand savoir-faire dans une profession, une discipline, grâce à une longue expérience. » Les experts convoqués ne sont donc pas nécessairement les historiens ou archéologues qui travaillent sur le projet de restitution. Ceux-ci peuvent bien sûr être considérés comme des experts vis-à-vis de nombreux aspects du modèle, mais à mesure que celui-ci se concentre sur des détails ou des usages spécifiques, la recherche d'experts dans ces usages spécifiques devient essentielle. Dans le cas que nous développerons par la suite, si les historiens du projet ont des connaissances étendues sur le théâtre au XVIII^e siècle, par exemple, la recherche d'experts en marionnettes de cette époque, et donc de praticiens, est essentielle pour pouvoir tester l'usage central du jeu de marionnettes dans notre restitution.

On attend de cette étape d'une part le commentaire du modèle et sa critique par les experts, qui permet une amélioration du modèle (soit par l'élimination d'hypothèses, soit par la suggestion d'améliorations), et d'autre part la production de nouvelles questions de recherche, stimulées par de nouveaux points de vue ou la nécessité d'explorer de nouveaux aspects du modèle. Pour l'expert, l'immersion dans une restitution consiste à confronter l'image mentale de ce qu'il imagine être la restitution avec la restitution elle-même. Toutes les différences qui apparaissent sont sources d'interrogations qui remettent le modèle, l'image mentale ou l'interprétation de la documentation en cause. La phase de visite virtuelle est donc à même d'améliorer non seulement le modèle virtuel, mais également de changer l'image de l'expert ou du chercheur sur son objet de recherche. Dans un cas, cela impose la production d'une nouvelle itération du cycle de rétro-architecture pour améliorer le modèle, dans l'autre, cela fait naître de nouvelles questions de recherche qui peuvent également stimuler de nouvelles itérations du cycle.

L'intérêt du recours à la réalité virtuelle est de confronter à la fois l'image de la restitution à l'image mentale, et l'expérience de la restitution à cette même image mentale. On entre alors dans le domaine du sensible, pour lequel les sens convoqués ne sont plus limités à la vue, mais reposent sur l'ensemble de la perception humaine. Ainsi, les savoir-faire et savoir-être des experts pour tester des usages en réalité virtuelle peuvent êtres convoqués. Il sera ainsi possible de vérifier si des gestes, attestés, peuvent être réalisés dans le modèle restitué : dans le cas contraire, l'hypothèse de restitution s'en trouverait invalidée.

Tant que les objectifs de la restitution ne sont pas clairement atteints à l'issue de la visite virtuelle, le processus recommence. Quand enfin les objectifs sont atteints, le modèle peut servir à poursuivre le cycle de la recherche, auprès d'un public plus large de la communauté scientifique puis auprès du grand public. Le processus de rétro-architecture, lorsqu'il mobilise une équipe, fait apparaître différents acteurs à des périodes différentes : ceux que l'on appelle « chercheurs », qui sont historiens ou archéologues et sont commanditaires de la restitution, le ou les « modélisateurs », qui sont infographistes, architectes ou ingénieurs et qui réalisent le modèle tridimensionnel et enfin les experts. L'intervention de chacun peut être résumée ainsi :

Phase	**Acteurs**
Objectifs et propos de la restitution	Chercheurs et modélisateurs
Collecte des documents	Chercheurs
Contextualisation des documents	Chercheurs
Recoupement et analyse	Chercheurs et modélisateurs
Modélisation	Modélisateurs
Visite Virtuelle	Chercheurs et experts

Table 1. Acteurs engagés dans les différentes phases de la rétro-architecture.

Évidemment, les limites entre ces différentes catégories sont floues, de même qu'entre les différentes étapes de la méthode. Nous avons vu, en effet, que l'analyse des documents peut passer par la modélisation, de même que l'on pourra dès la phase de collecte procéder à la contextualisation ou au recoupement des documents. Il est également possible qu'une même personne endosse le rôle de chercheur, modélisateur ou expert au sein du même projet : nous avons par exemple joué ces trois rôles pour la réalisation décrite au chapitre suivant, avec le concours d'autres chercheurs et experts.

En créant cette méthode de rétro-architecture, nous avons établi une trame de travail suffisamment précise pour pouvoir encadrer un processus de restitution, mais suffisamment lâche pour pouvoir se satisfaire de commandes diverses, aussi bien en histoire qu'en archéologie. Cette méthode laisse apparaître le besoin d'outils spécifiques qui permettent non seulement le stockage des données, mais également la visualisation d'un modèle en réalité virtuelle, ou l'expérimentation d'usages dans ce contexte.

Nous avons formulé un ensemble d'hypothèses concernant les spécificités du travail sur l'espace, sur l'histoire ou l'archéologie, sur le travail en trois dimensions. Ces hypothèses, qui nous ont permis de bâtir cette méthode, demandent évidemment à être vérifiées. Pour cela nous allons mettre en application la rétro-architecture sur deux projets et pourrons ainsi les vérifier dans un usage en conditions réelles de cette méthode.

Application de la méthode : un théâtre de marionnettes à la Foire Saint-Germain

Chapitre V

Afin de mettre à l'épreuve la méthodologie de la Rétro-Architecture, nous l'appliquerons sur un cas d'étude. Dans le cadre du projet VESPACE, nous nous intéressons spécifiquement à la restitution architecturale d'un lieu de spectacle de la Foire Saint-Germain à Paris au XVIII^e siècle. Quelles sont les informations nécessaires pour pouvoir recréer virtuellement une telle salle de spectacle ?

Suivant les principes de la rétro-architecture, nous devrions chercher des documents issus de la phase d'usage de ces théâtres disparus, ou des plans de projet. Mais avant même de nous intéresser à l'existence de ces documents, il est nécessaire d'en savoir plus sur le contexte de ces spectacles, et donc sur la Foire Saint-Germain elle-même. L'histoire de cette Foire, remontant au XII^e siècle, sera retracée dans une première partie avec deux lectures particulières : la première s'intéressera à la morphologie des espaces forains que l'on peut lire dans les plans et cartes de Paris et dans les représentations de ces lieux. La seconde s'intéressera spécifiquement à l'histoire de ses spectacles. Sans revenir en détails sur une histoire qui a fait l'objet de nombreuses publications et thèses, nous essayerons d'apporter un nouvel éclairage par le positionnement systématique des lieux de spectacle et des entrepreneurs qui les tenaient sur la carte du Paris du XVIII^e siècle. Une telle méthode permettra, on le verra, de rendre compte d'une certaine complexité dans l'histoire des spectacles forains, complexité qui n'apparaît pas toujours dans le récit simplifié qu'offre la littérature scientifique à ce sujet.

Après cette mise en contexte, nous choisirons une représentation de spectacle forain peinte par Louis-Nicolas van Blarenberghe, représentant un théâtre de marionnettes, et en ferons l'analyse complète afin qu'elle puisse servir à la création d'un modèle tridimensionnel de théâtre. Les différentes hypothèses soulevées pour cette modélisation seront tour à tour explicitées et nous verrons qu'il nous sera nécessaire de nous appuyer sur d'autres documents pour pouvoir restituer cet espace disparu. Ces documents, rapports de police, archives, plans et représentations d'autres spectacles permettront également de planter le contexte socio-culturel des spectacles forains. Nous obtiendrons ainsi une maquette complète d'une double interprétation d'un spectacle de marionnettes de la Foire Saint-Germain (notre interprétation de l'interprétation de Blarenberghe) et mettrons en évidence les restitutions incertaines.

Enfin, s'agissant de la modélisation d'un théâtre de marionnettes nous verrons qu'il est nécessaire d'avoir recours non seulement à des documents et savoirs, mais également à des savoir-faire. Nous détaillerons donc la manière dont nous avons obtenu des informations par le travail avec ces praticiens et chercheurs et comment cette expérience a permis de faire mûrir les principes de l'outil que nous développerons dans le chapitre suivant.

La Foire Saint-Germain au XVIIIe siècle

L'établissement initial de la Foire Saint-Germain semble remonter vers 1175[1], suite à une décision du roi Louis-le-Jeune[2] ; elle disparut une première fois à la fin du XIIIe siècle. La renaissance de cette foire tiendrait dans les besoins financiers de l'Abbaye de Saint-Germain-des-Prés qui voyait dans l'établissement d'une foire franche[3] un bon moyen d'obtenir de nouveaux crédits. L'abbé fit donc la demande au roi Louis XI (1461-1483) en 1481 d'obtenir le droit d'établir une foire sur les terres de l'abbaye, dans l'actuel quartier Saint-Germain à Paris. La requête fut acceptée en 1482 et dès le 3 février 1486 se tint tous les ans la Foire Saint-Germain[4]. La préface des Mémoires des frères Parfaict renseigne sur la nature des exemptions de cette foire : « avec franchise huit jours durant d'aides, de péages et autres impôts »[5]. Il fallut néanmoins attendre le début du XVIe siècle et l'année 1512 pour que Guillaume Briçonnet[6], abbé de Saint-Germain fasse construire les halles de la Foire, et notamment leur charpente, qui allaient perdurer jusqu'au XVIIIe siècle.

Les chroniques historiques foraines restent relativement muettes sur l'évolution de la Foire entre le début du XVIe siècle et la fin du XVIIe siècle. Tout au plus apprend-on que la durée de la Foire était variable, de quelques jours seulement au début du XVIe siècle à près de deux mois au XVIIIe siècle[7]. C'est seulement sous le règne de Louis XIV (1643-1715) que la Foire commence à être associée à des divertissements qui finiront par rivaliser avec son aspect marchand initial. Il semble donc que pendant un siècle et demi, la Foire Saint-Germain ait exclusivement joué un rôle commercial. Mais à quoi ressemblait cette Foire ?

L'espace de la Foire Saint-Germain

La Foire Saint-Germain se tient, comme son nom l'indique, dans l'actuel quartier Saint-Germain qui n'était qu'une bourgade périphérique lors des premières foires des XIIe et XIIIe siècles[8], avant que l'agrandissement de Paris n'en fasse un faubourg, puis une composante de l'actuel septième arrondissement de la ville. Les bâtiments de la Foire sont placés à mi-chemin entre l'Abbaye Saint-Germain-des-Prés, au nord ouest, et Saint-Sulpice, immédiatement au sud. Jusqu'à sa destruction durant le XVIIe et XVIIIe siècles, l'enceinte de Philippe Auguste sépare le quartier Saint-Germain et donc la Foire du cœur de la ville de Paris.

La description extraite de l'ouvrage des frères Parfaict permet de se faire une première idée de la morphologie de ce lieu :

1 De Gaulle 1839, p. 179.
2 Il s'agit du roi Louis VII, 1137-1180.
3 Une foire franche est une foire qui peut profiter de privilèges royaux, et notamment d'exemptions de taxes.
4 De Gaulle 1839, p. 180.
5 Parfaict 1743, vol 1, p. XV.
6 De Gaulle 1839, p. 180.
7 Parfaict 1743, vol 1, p. XVI et suivantes : « En 1485 Charles VIII la remit au 3 Février : depuis en 1491 il la divisa en deux, & permit aux Religieux de Saint Germain de l'ouvrir le lendemain de Saint Matthias & de Saint Martin, mais que chaque fois elle ne durerait que quatre jours. [...] En 1595 elle commença le Lundi 6 Février, veille du Mardi-gras ; maintenant, & depuis plusieurs années, on l'ouvre le 3 Février. Pendant la Ligue, on ne l'a point presque tenue. En récompense, Henry IV en 1595 la fit durer trois semaines. Jamais elle n'en avait duré qu'une. En 1630 elle fut continuée six semaines toutes entières. De nos jours, elle a commencé à durer deux mois […]. »
8 Le « Quatrième plan de la ville de Paris, son accroissement et l'état où elle était sous le règne de Philippe Auguste […] », dressé en 1705 par Nicolas de La Mare et Antoine Coquart, présente en effet la « Ville ou Bourgade de Saint-Germain ». À voir sur Gallica : ark:/12148/btv1b8593325k Il convient de rester prudent dans l'interprétation des plans de Paris avant le XVIe siècle, qui sont pour la plupart des reconstitutions du XIXe siècle dédiés à montrer l'évolution de la ville. Ils sont donc le reflet de l'interprétation de cette époque sur le passé de la ville. Certains plans dans Engelhard, 1880 vont jusqu'à représenter la Foire dans un état proche du XVIe siècle, dès le XIIIe siècle, ce qui nous paraît peu crédible.

Fig. 42. **Plan de la ville de Paris vers 1550, dit « Plan de Bâles ».**
Au centre de l'image, la Foire Saint-Germain est représentée et identifiée. L'abbaye de Saint-Germain-des-Prés est en bas de l'image. Le nord sur ce plan est à gauche. Source : Gallica.

> Ce sont deux Halles longues de cent-trente pas, larges de cent, composées de vingt-deux travées, & couvertes d'une charpente fort exhaussée, où les gens du métier admirent quantité des traits de leur Art : aussi est-elle très-célèbre, autant pour sa grandeur, que pour sa magnificence ; car c'est peut-être le plus grand couvert qui soit au monde. Neuf rues tirées à la ligne, la partagent en vingt-quatre isles, & sont bordées de tant de Loges, que le nombre en est surprenant. Deçà & delà, on a répandu des cours & des puits, pour remédier aux accidents du feu. On apprend des anciens Plans de Paris, que tout était isolé autrefois ; présentement, d'un côté à l'un des bouts, elle tient à des maisons particulières. Autour du reste règne une grande place vide, où l'on entre par trois grandes rues […][9].

On comprend dans un premier temps que les halles de la Foire prenaient place au sein d'un plus vaste ensemble, comprenant ces bâtiments eux-mêmes mais aussi une cour vide, le tout enclos d'une enceinte. Cet espace vide était dénommé « préau » et est identifiable dès les premières représentations de la Foire. Malgré l'usage contemporain de ce mot, il ne faut pas y voir un espace extérieur couvert, mais bien une sorte de « pré » figurant d'ailleurs dans l'étymologie du mot[10]. L'enceinte de la Foire a subi au cours du temps un ensemble de modifications qui ont progressivement réduit la taille de ce préau. À mesure que le faubourg se densifiait, conserver un espace aussi vaste pour un usage si limité dans le temps était peu tenable.

Les plans du XVI^e^ siècle, comme le plan dit « de la Tapisserie » (*Fig. 44*) dressé vers 1550[11] ou le plan dit « de Bâles »[12] (*Fig. 42*) dressé dans les mêmes années, montrent en effet les deux halles au milieu d'un espace clos. Pour comprendre ces documents,

9 Parfaict 1743, vol 1, p. XXI-XXII.
10 Voir l'article « Préau » du *Trésor de la Langue Française Informatisé* [http://atilf.atilf.fr].
11 Gallica : ark:/12148/btv1b6902600j.
12 Gallica : ark:/12148/btv1b53093892p.

il convient de rappeler que les plans de Paris, et ce jusqu'au milieu du XVIIIe siècle, mettent le nord à gauche, ce qui a pour effet de représenter la Seine coupant le plan de haut en bas. En bas à droite de ces plans, donc (mais au sud-ouest de Paris), la représentation de la Foire Saint-Germain est quasi identique : les deux halles sont grossièrement dessinées, leurs portes à peine esquissées mais on y distingue des fenêtres de toit, et leur silhouette parfaitement reconnaissable. Elles figurent sur ces plans au milieu d'un espace dont l'enceinte est percée de trois portes : au nord (en direction de l'Abbaye Saint-Germain-des-Près), à l'est (vers le centre de Paris) et au sud (vers Saint-Sulpice). Notons d'ores et déjà que ces percements qui apparaissent au XVIe siècle ne sont pas les mêmes que ceux qui sont décrits deux siècles plus tard dans l'introduction des Frères Parfaict.

En effet, dès le plan de François Quesnel, dressé vers 1609[13] (*Fig. 46*), l'accès à l'enceinte par le sud a disparu, remplacé par des habitations qui semblent profiter du percement de la rue du Petit Bourbon au travers du cimetière de Saint-Sulpice, l'actuelle rue Saint-Sulpice. Dès lors, ce sont deux accès par le nord qui sont dessinés, l'accès par l'est étant conservé. Il y a donc eu une réduction substantielle de l'emprise du préau à la fin du XVIe siècle, peut-être suite au percement de la rue ou indirectement en raison de l'installation des maisons le long de celle-ci. Toujours sur ce plan, un pilori est représenté dans le préau, laissant suggérer que le pilori représenté à l'extérieur des plans précédents aurait été déplacé au sein de la Foire. Est-ce une erreur de représentation ou un usage réel de cet espace ? L'usage restreint du préau nous fait douter de l'efficacité d'un tel pilori[14]caché aux yeux de tous en dehors des périodes de foire. Le plan de Paris de 1648, par Jean Boisseau (*Fig. 50*), désigne toujours le carrefour de la rue de Bussy (actuelle rue de Buci), de la rue des Boucheries et de la rue du Four (ces deux dernières étant sous l'actuel Boulevard Saint-Germain) comme « Carrefour du Pilori ». Sur ce même plan apparaît à l'ouest de la Foire la rue Guisarde qui marque une autre réduction de son emprise lors de la création de cette voie en 1620[15].

À partir du milieu du XVIIe siècle, les deux halles de la Foire avaient leurs façades sud et ouest confondues avec les limites de l'enceinte. La réduction suivante de l'espace forain intervint plus tard lorsqu'une partie du préau fut cédée à la ville pour l'établissement d'un marché. Depuis 1721 si l'on en croit une lettre patente conservée aux Archives Nationales[16] la décision avait été prise de détruire une partie du préau. L'espace vide entourant les halles passait ainsi en 1726 de 7000 mètres carrés à 4000 mètres carrés. On le verra, cette décision eut de lourdes conséquences pour l'histoire des spectacles forains, mais le préau reste au moins jusqu'aux années 1770 associé à ceux-ci. La diminution de cet espace suite à la construction du marché change légèrement la signification de l'expression « dans le préau » : si les loges foraines situées « dans le préau » au début du XVIIIe sont bien édifiées au cœur de cet espace, un projet de théâtre situé « dans le préau » en 1770[17] est en fait imaginé dans l'arrière-cour d'une propriété donnant dans le cul-de-sac des Quatre Vents, mais dont le mur du fond jouxte effectivement le préau. Cette modification de l'espace forain est la dernière et la plus importante avant la disparition de la Foire. Celle-ci fut détruite pour laisser place à l'édification du nouveau Marché Saint-Germain en 1811, bâtiment qui subsiste encore aujourd'hui.

Au XVIIIe siècle, on accède donc à l'espace forain par cinq portes principales (*Fig. 43*) :

— La porte de la rue du four, au nord-ouest de l'enceinte donne directement sur la rue du Four ;

13 Engelhard 1880, pl. XIII. BSP : ark:/73873/pf0000852465.
14 L'intérêt du pilori était d'afficher aux yeux de tous le supplice de ceux qui y avaient été condamnés.
15 Hillairet 1960, p. 617.
16 A.N. Notice 4724, E//2012 fol. 34-36.
17 Voir Chapitre VII. A.N. N/III/Seine 262/3. La chemise d'époque évoque en effet « Plan de la salle de spectacle projetée l'un dans le préau de la Foire Saint-Germain du côté du cul-de-sac des Quatre Vents […] ».

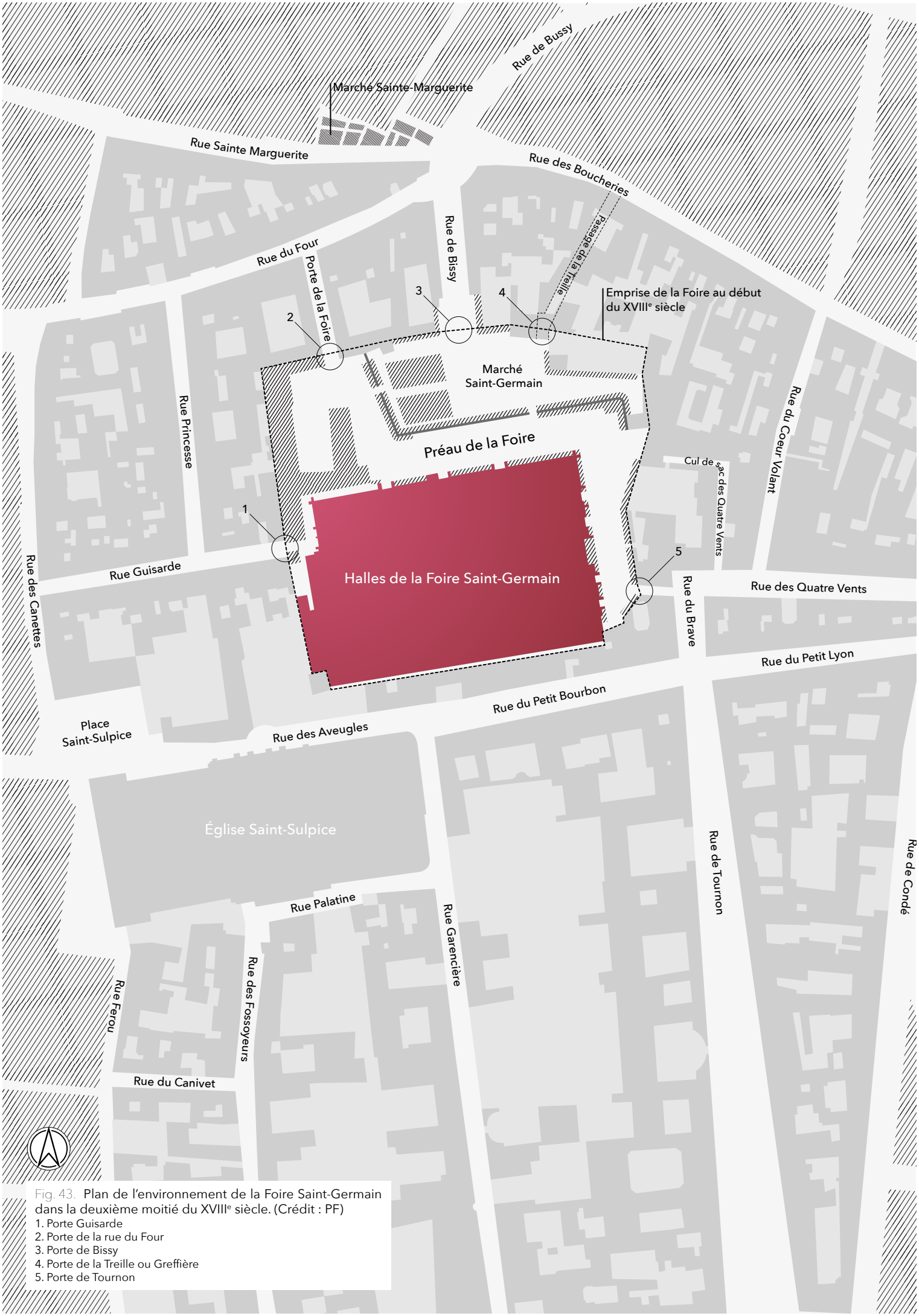


Fig. 43. Plan de l'environnement de la Foire Saint-Germain dans la deuxième moitié du XVIIIe siècle. (Crédit : PF)
1. Porte Guisarde
2. Porte de la rue du Four
3. Porte de Bissy
4. Porte de la Treille ou Greffière
5. Porte de Tournon

— La porte de Bissy, au nord, donne directement à l'espace forain jusqu'à la construction du nouveau Marché Saint-Germain en 1726. À partir de cette date, il faut traverser ce marché pour avoir accès à la Foire ;
— La porte de la Treille, au nord-est, qui donne accès au préau depuis la rue des Boucheries par le passage de la Treille ou « porte Greffière »[18] ;
— La porte des Quatre Vents, à l'est donne sur la rue des quatre vents ;
— La porte Guisarde s'ouvre à l'ouest sur la rue Guisarde et permet de pénétrer directement dans les halles foraines.

Les bâtiments de la Foire Saint-Germain

La Foire Saint-Germain se compose donc à la fois d'un espace clos, l'enclos de la Foire, et de bâtiments construits sur cet enclos. Parmi ces bâtiments, le plus important est celui des halles dont l'ampleur aurait impressionné les visiteurs mais la description succincte rapportée par les Frères Parfaict ne permet que d'en faire une vague restitution. Pour préciser l'image des bâtiments de la Foire, il est possible de s'appuyer simultanément sur plusieurs sources. Les premières, que nous avons déjà commencé à exploiter, sont les plans de Paris du XVI^e^ au XVIII^e^ siècle qui fournissent à mesure que les techniques de cartographie et de représentation évoluent, des informations précieuses sur les bâtiments et leur contexte. Les secondes sont les plans des bâtiments eux-mêmes qui apparaissent vraisemblablement à partir de la seconde moitié du XVIII^e^ siècle à la faveur de projets de reconstructions après l'incendie qui détruisit les halles en 1762, ou pour le suivi locatif de l'emplacement des marchands. Enfin, les troisièmes sont des images provenant de contextes divers : vues d'optique, gravures, peintures, miniatures qui représentent la Foire, une bonne partie d'entre elles se concentrant sur la Foire pendant ou après son incendie de 1762. Certains de ces documents ont fait l'objet d'une présentation et d'une étude dans dans la thèse de Núria Aragonès-Riu[19] soutenue en 2008, sous le prisme de l'historiographie des divertissements urbains mais nous sélectionnons et analysons ici un corpus dans l'optique d'une compréhension spatiale et architecturale de la Foire.

Les bâtiments vus par les graveurs des plans de Paris : 1550-1790

L'étude des plans de Paris[20] en dit probablement aussi long sur l'évolution des normes de représentation, sur les filiations et copies entre graveurs ou sur l'évolution des points de repère dans la ville que sur la ville elle-même. Par chance, la Foire Saint-Germain est un lieu suffisamment important pour qu'il ait fait l'objet d'une représentation plus précises que les dessins de bâtis génériques qui couvrent une grande partie de ces cartes. Du XVI^e^ au XVIII^e^ siècle, ce sont une quarantaine de plans qui sont dressés. Parmi ceux-ci nous avons sélectionnés ceux qui montraient le mieux les bâtiments de la Foire ou illustraient une nouvelle manière de les présenter. Le corpus est donc composé des dix-neuf plans suivants :

Date	Désignation	Référence
~1550	Plan de la Tapisserie	Gallica ark:/12148/btv1b6902600j
~1550	Plan de Bâles	Gallica ark:/12148/btv1b53093892p
1609	Plan de Quesnel	BHVP ark:/73873/pf0000852465

18 Saint-Victor 1827. T. IV, « rue de la Treille ».
19 Aragones-Riu 2008a.
20 Pour la méthodologie d'analyse cartographique, on utilise ici les outils présentés par Jean-Luc Arnaud dans Arnaud 2008.

Date	Désignation	Référence
1609	Plan de Nicolay	Gallica ark:/12148/btv1b53102569k
1615	Plan de Mérian	Gallica ark:/12148/btv1b53062287z
1630	Plan de Sauvé	Gallica ark:/12148/btv1b85933319
1648	Plan de Boisseau	BHVP ark:/73873/pf0000852465 PL. XVII
1652	Plan de Gomboust	BHVP ark:/73873/pf0000852465 PL. XVIII
1672	Plan de Jouvin	Gallica ark:/12148/btv1b53010929s
1676	Plan de Bullet et Blondel	Gallica ark:/12148/btv1b53010953b
1697	Plan de Nicolas de Fer	Gallica ark:/12148/btv1b84409468
1713	Plan de Jaillot	BHVP ark:/73873/pf0000852465 PL. XXIII
1714	Plan de La Caille	BHVP ark:/73873/pf0000852465 PL. XXIV-4
1728	Plan de Delagrive	Gallica ark:/12148/btv1b53010902t
1730	Plan de Roussel	Gallica ark:/12148/btv1b7711270h
1735	Plan de Turgot	BHVP ark:/73873/pf0000852465 PL. XXVII-3
1762	Plan de Jaillot (corrigé)	Gallica ark:/12148/btv1b53053250m
1763	Plan de Deharme	BHVP ark:/73873/pf0000852465 PL. XXIX
1790	Plan de Verniquet	BHVP ark:/73873/pf0000852465 PL. XXXI

Table 2. Liste des plans de Paris du XVI^e^ au XVIII^e^ siècle étudiés.

Ces plans font preuve d'une très grande liberté dans la manière de représenter la ville. Alors que les plans contemporains sont des vues zénithales de la ville, les premiers plans du XVI^e^ siècle sont des vues obliques, ou vues d'oiseau, montrant la ville telle qu'elle serait observée d'un point élevé à l'ouest. Cette orientation est également sujette à variations : la Seine coupe tantôt le plan verticalement, le nord étant donc à gauche, tantôt horizontalement, le nord étant en haut (comme sur la plupart des plans et cartes contemporains). Une troisième catégorie de plans représente le nord en bas à gauche du plan, la Seine traversant la gravure de manière oblique. Il convient donc de vérifier l'orientation locale du plan pour pouvoir comparer les représentations entre elles.

Naissent de cette diversité des points de vue plusieurs manières de représenter le bâti. Les plans les plus anciens cherchent à représenter l'ensemble du bâti de Paris en perspective cavalière[21] (c'est le cas notamment du plan de Turgot), ce qui n'est pas sans poser de problème dans les rues étroites de la capitale où ce type de représentation oblige à exagérer la largeur des rues ou la faible profondeur des îlots sans quoi les rues deviennent invisibles. Afin de garder l'impression d'exhaustivité du plan, les bâtiments non remarquables (maisons particulières, par exemple), sont représentées de manière génériques[22] : on retrouve sur le plan de la Tapisserie l'archétype de la maison à toit à doubles pans, avec une porte et une seule fenêtre. À partir du plan de

21 Contrairement à une perspective à points de fuite, qui correspond à notre perception naturelle de notre environnement, la perspective cavalière ne représente pas les objets lointains en plus petit. En contrepartie, les objets paraissent souvent déformés.

22 Arnaud 2008, p. 70 parle de « généralisation » ou de « remplissage », qui évite de laisser des zones blanches dans les espaces de la carte qui n'ont pas fait l'objet d'un relevé systématique.

Fig. 44. Plan de la Tapisserie, extrait. *Ca.* 1550.

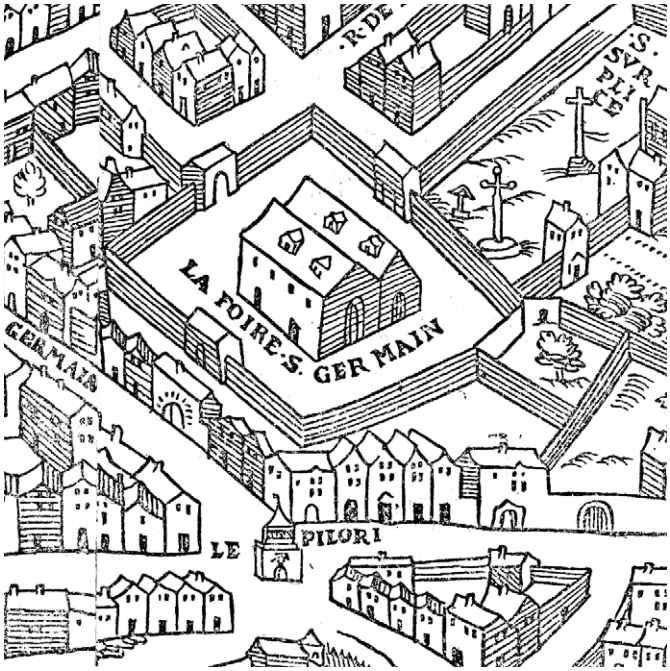


Fig. 45. Plan de Bâles, extrait. *Ca.* 1550.

Gamboust, un autre type de représentation du bâti apparaît dans notre corpus, où seuls les points d'intérêt ou de repères urbains sont détaillés dans le plan. L'essentiel de la masse des îlots est poché, c'est-à-dire rempli d'un applat de couleur, et le reste est toujours représenté en vue cavalière. Enfin, le plan de Jovin témoigne d'un dernier type de représentation : celui du détail des masses des bâtiment d'intérêt, sans nécessairement en représenter une partie des façades. Cette manière de représenter la ville est évidente sur le plan de Delagrive. Chacun de ces plans, avec ces méthodes de représentation différentes, peut donc apporter des informations de différents ordres sur les bâtiments de la Foire. Les perspectives cavalières et vues d'oiseau renseignent les élévations des bâtiments forains, tandis que les plans vus de dessus renseignent avec une plus grande précision l'emprise au sol de ces bâtiments et leur position. Comme toute représentation construite de la réalité, il convient de garder en tête que l'image que nous percevons aujourd'hui résulte de choix et de contraintes artistiques, idéologiques ou techniques qui sont autant de pièges à éviter dans leur interprétation. Pire encore, pour nous parvenir ces plans ont souvent fait l'objet de plusieurs reproductions ce qui nécessitait, bien avant l'utilisation de la photographie et des procédés d'impression moderne, de devoir les regraver. L'intervention d'un nouveau graveur signifie autant de possibilités de nouvelles interprétations, de modifications ou d'erreurs qui nous éloignent ainsi de la carte originale.

Tant le plan de la Tapisserie (*Fig. 44*) que le plan de Bâles (*Fig. 45*), dressés vers 1550 représentent les bâtiments de la Foire de manière similaire : au centre du préau figurent deux longs bâtiments parallélépipédiques, surmontés chacun d'un toit à deux pans. Sur le plan de la Tapisserie, ces bâtiments sont proches, mais semblent ménager un passage entre eux, tandis que sur le plan de Bâles, ils sont clairement accolés. Les pignons visibles (ceux orientés à l'ouest sur ces plans) sont percés d'une grande porte centrale et surmontés, sur le plan de la Tapisserie, d'une fenêtre qui semble circulaire. Le plan de Bâles, plus précis, permet de lire une façade nord à deux registres. Le premier composé de deux grandes portes, le second composé de quatre fenêtres. Au-dessus, et c'est un point commun à ces deux plans, des lucarnes pignons (c'est-à-dire des fenêtres de toit verticales, et formant un pignon dans la toiture). Si les bâtiments forains semblent effectivement plus gros que les maisons environnantes, il est difficile d'en comprendre l'échelle véritable : le remplissage du plan par des bâtiments au gabarit parfois maladroit vient troubler notre lecture du plan.

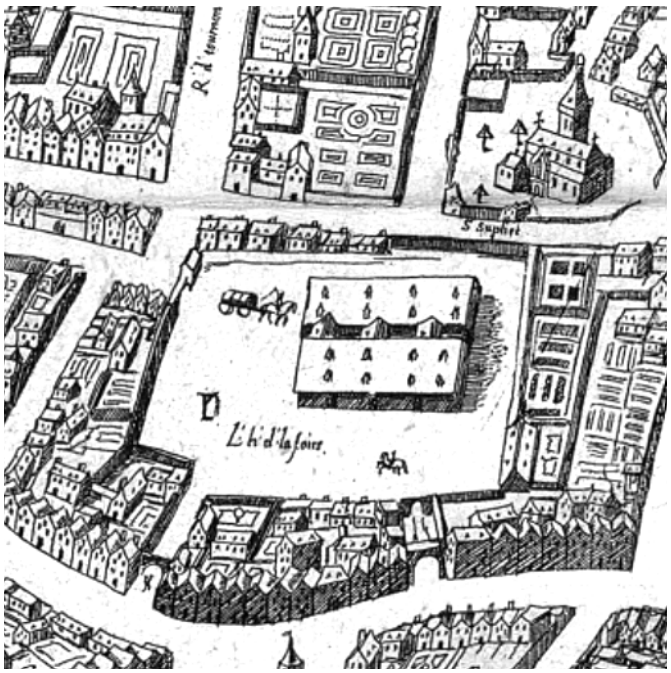


Fig. 46. **Plan de Quesnel, extrait. 1609.**

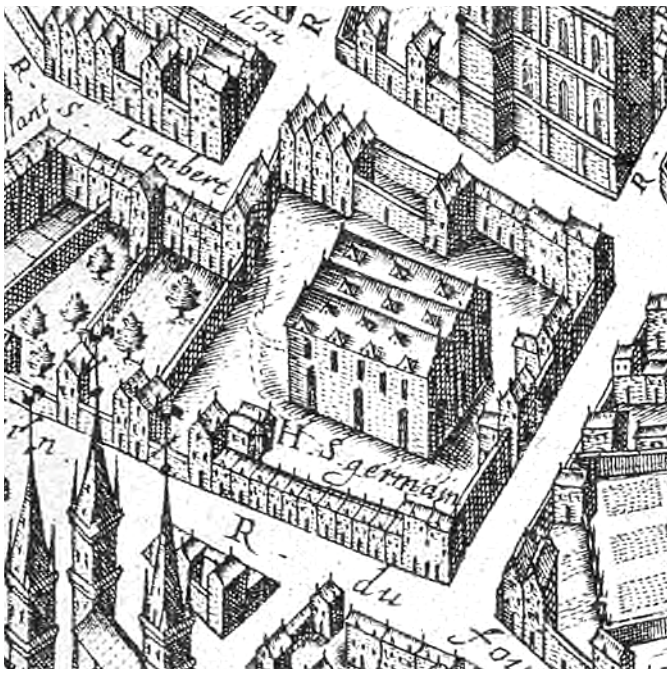


Fig. 47. **Plan de Nicolay, extrait. 1609.**

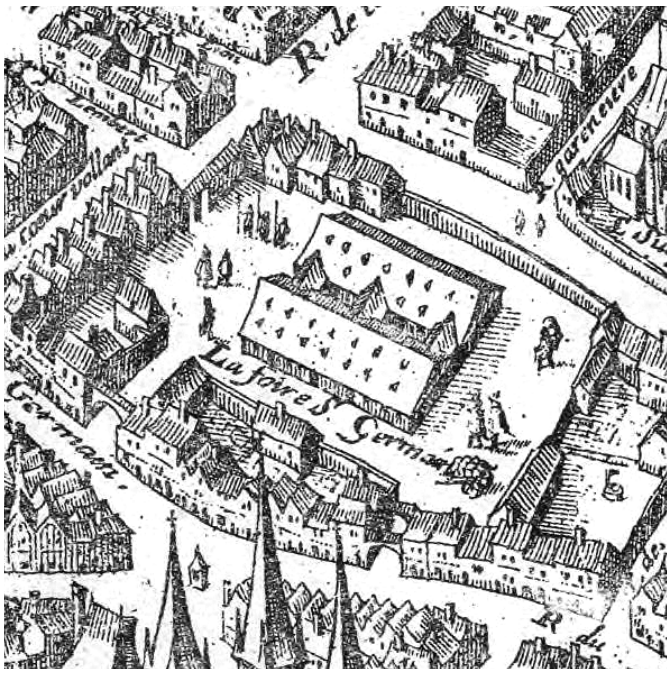


Fig. 48. **Plan de Mérian, extrait. 1615.**

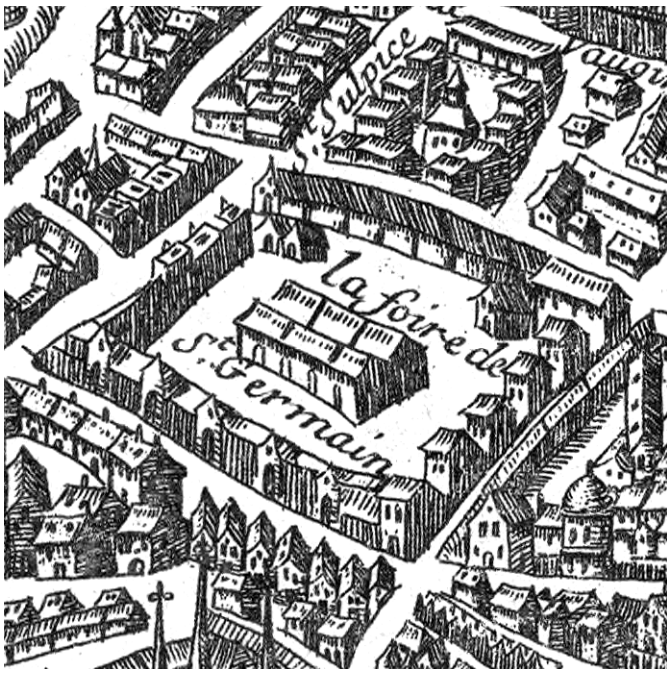


Fig. 49. **Plan de Sauvé, extrait. 1630.**

L'indication « La Foire Saint-Germain », explicitement inscrite sur ces deux plans, montre que dès cette époque, celle-ci revêt une place importante dans le tissu urbain.

Le plan de Quesnel (*Fig. 46*) dressé vers 1609 et le plan de Mérian (*Fig. 48*) vers 1615 représentent de manière quasi identique les bâtiments de la Foire. Les deux longs bâtiments sont représentés beaucoup moins élevés que sur les plans du XVI^e^ siècle, mais le détail de leur interaction commence à apparaître. Entre ces deux principaux bâtiments, trois ailes perpendiculaires surmontées d'un toit à deux pans, viennent connecter les deux corps principaux. Ils ménagent ainsi deux cours intérieures. Les toits des deux halles, toujours à deux pans, sont parcourus par deux rangées de lucarnes, peu détaillées et dont le nombre est plus important sur le plan de Mérian. Enfin, la façade nord, la seule visible sur ces deux plans, montre trois portes et des fenêtres, percées au même niveau. La facture moins grossière du dessin

Fig. 50. **Plan de Boisseau, extrait. 1648.**

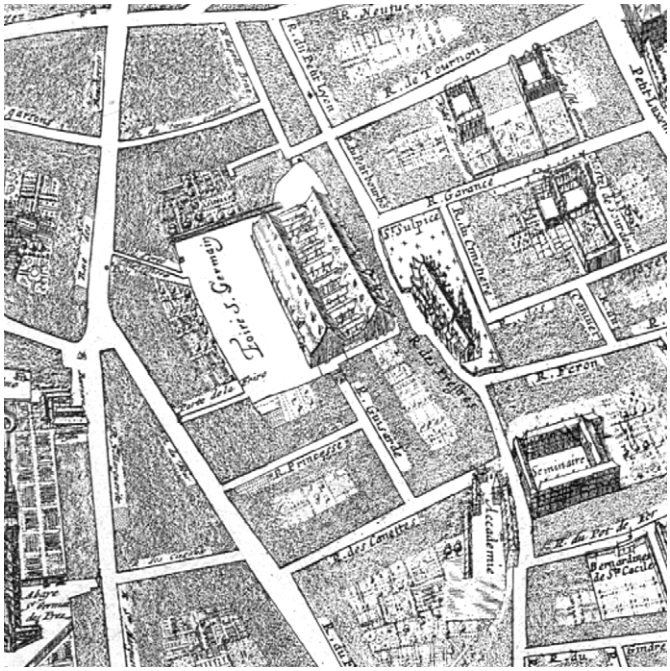


Fig. 51. **Plan de Gomboust, extrait. 1652.**

de l'ensemble de la carte de Mérian vient ainsi compléter l'image de ces bâtiments en ajoutant les « traverses », telles qu'elles seront désignées plus tard, ces ailes perpendiculaires faisant le lien entre les deux halles. On voit également apparaître dans le préau la représentation de groupes d'individus et de calèches.

Également gravé vers 1609, le plan de Nicolay (*Fig. 47*) montre pourtant une toute autre image des bâtiments de la Foire. Sur ce plan, la Foire est composée de trois longs, fins et hauts bâtiments accolés. De manière générale tous les bâtiments de ce plan sont artificiellement étirés en hauteur (il suffit pour s'en convaincre de regarder l'église Saint-Sulpice voisine). Chacun de ces bâtiments est recouvert d'un toit à deux pans percés, au moins pour le pan le plus au nord, de deux rangs de lucarnes à pignons. La façade nord, quant à elle, est clairement percée de trois portes dans la partie basse, et de cinq fenêtres dans la partie haute.

Le plan de Sauvé (*Fig. 49*) en 1630 reprend également l'idée de deux halles collées, sans cours les séparant, mais le nombre d'ouvertures est cette fois bien différent : quatre portes percent la façade nord, et deux lucarnes percent les pans du toit. Cette idée des halles collées persiste dans le plan de Jouvin de 1672 (*Fig. 52*) qui représente la Foire Saint-Germain, en plan cette fois, avec ce qui apparaît comme trois rangées de deux halles accolées, chacune d'entre elle étant couverte d'un toit à quatre pans. Cette méthode de représentation des halles est reprise dans le plan de Nicolas de Fer de 1697 (*Fig. 54*) et dans le plan de La Caille en 1714 (*Fig. 56*).

Le plan de Boisseau (*Fig. 50*), en 1648, montre un bâtiment allongé perpendiculairement à la direction des halles et qui s'en rapproche dans leur angle nord ouest. Ce bâtiment apparaît, de manière simplifiée, dans la plupart des plans à partir de cette époque, montrant son importance dans l'image de la Foire Saint-Germain. En plus de reprendre la représentation des portes et fenêtres des plans de Quesnel et Mérian, le plan de Boisseau figure une quatrième aile venant relier les deux halles, ce qui ménage par la même occasion une troisième cour. En 1652, le plan de Gamboust (*Fig. 51*), reprend la représentation des nombreuses lucarnes en deux registres dans le toit des halles, mais indique cette fois pas moins de neuf ailes reliant les deux corps principaux, et ménageant ainsi huit cours. De manière quasi-identique, le plan de Bullet et Blondel (*Fig. 53*) de 1676 reprend cette image avec neuf ailes et huit cours, sans apporter d'éléments nouveaux de représentation de la Foire.

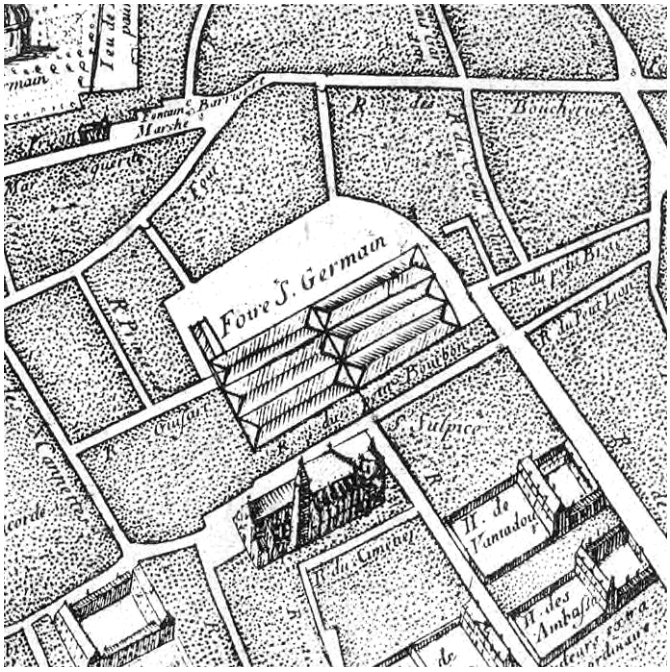


Fig. 52. Plan de Jouvin, extrait. 1672.

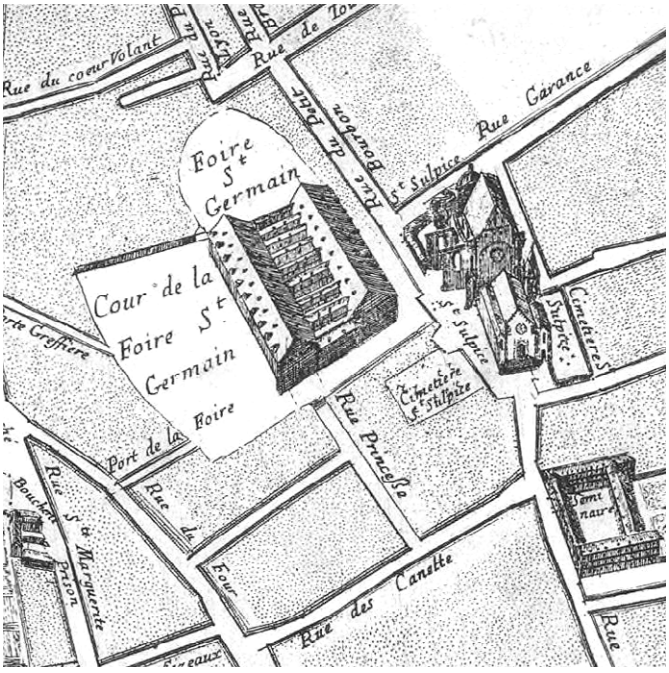


Fig. 53. Plan de Bullet et Blondel, extrait. 1676.

Fig. 54. Plan de Nicolas de Fer, extrait. 1697.

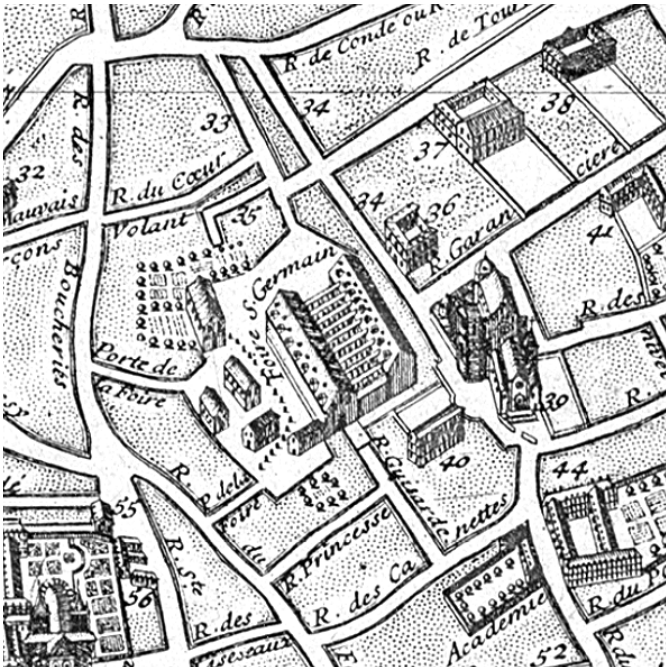


Fig. 55. Plan de Jaillot, extrait. 1713.

En 1713, le plan de Jaillot (*Fig. 55*) reprend également ces neuf ailes, mais fait apparaître un élément nouveau, non pas sur les halles elles-même, mais dans le préau. On y voit, en plus du bâtiment déjà signalé par le plan de 1648, quatre bâtiments figurés de manière similaire : rectangulaires et assez élevés, surmontés d'un toit à deux pans, présentant une porte et deux fenêtres sur leur pignon et une rangée de fenêtre sur leurs plus grands côtés. S'il s'agit probablement d'une représentation générique, le fait même qu'ils apparaissent sur ce plan prouve qu'ils revêtent une importance particulière. Sur ce plan, seuls les bâtiments remarquables sont détaillés, le reste des îlots est rempli d'une texture de points. L'un de ces bâtiments, contigu aux limites de l'emprise de la Foire, semble également s'ouvrir sur un jardin représenté en détail. Curieusement, une ligne discontinue vient séparer l'espace entourant ces bâtiments du reste du préau : elle évoque par son tracé la future séparation entre le préau et le

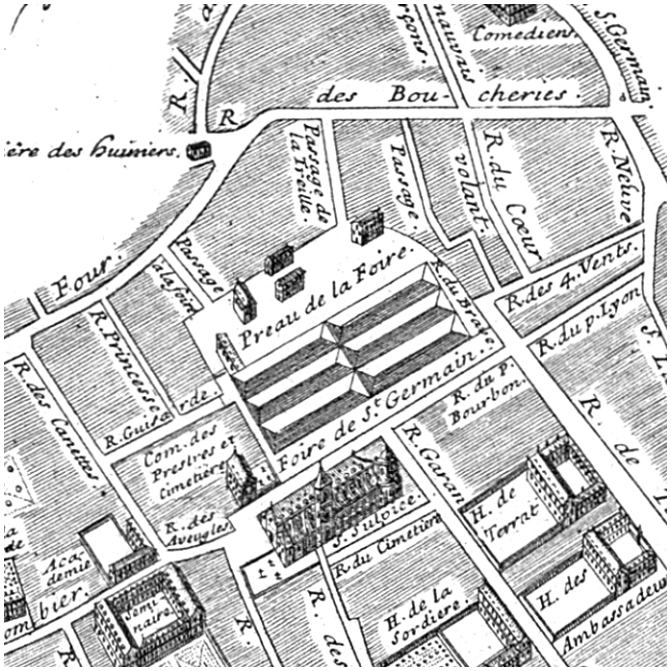


Fig. 56. Plan de La Caille, extrait. 1714.

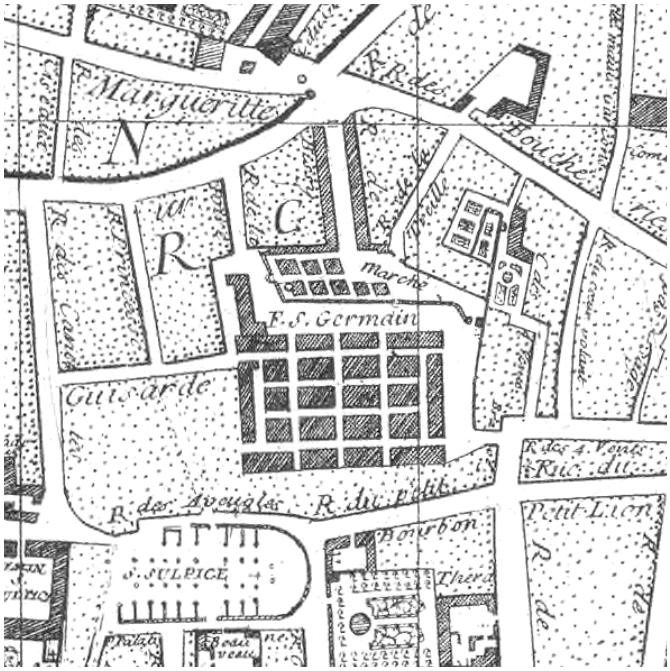


Fig. 57. Plan de Delagrive, extrait. 1728.

Marché Saint-Germain qui interviendra douze ans plus tard. Le plan de La Caille (*Fig. 56*) en 1714 montre également ces quatre bâtiments, de manière plus précise même que les halles de la Foire (qui sont, on l'a vu, représentées en vue strictement zénithale), sans néanmoins faire apparaître ni la séparation, ni le jardin. Ces deux plans sont les seuls représentant la Foire quelques années avant la construction du Marché Saint-Germain, et donc avant l'amputation majeure de son emprise.

Le plan de Delagrive en 1728 (*Fig. 57*) change de mode de représentation puisque si les îlots étaient déjà représentés comme des aplats gris précédemment, les bâtiment d'intérêt ont ici simplement leur plan masse détaillé et poché de noir. Réalisé après la création du marché, ce plan laisse apparaître l'organisation de celui-ci mais il permet également de voir l'intérieur des halles de la Foire elle-même, qui ont profité d'un traitement particulier. En effet, à l'image des édifices publics de la capitale dont le plan interne est visible (c'est particulièrement visible pour Saint-Sulpice qui jouxte la Foire), on perçoit ici les circulations à l'intérieur des halles foraines. On y retrouve quatre « rues » principales traversant d'ouest en est les halles, dont deux seulement s'ouvrent sur l'extérieur. Perpendiculairement, trois autres rues du nord au sud traversent également la Foire d'un côté à l'autre, tandis que deux autres rues parallèles internes ne débouchent pas sur l'extérieur. Le plan de Roussel (*Fig. 58*) en 1730 reprend une représentation identique de la Foire.

Nous arrivons à la date de création d'un des plans les plus emblématiques de Paris au XVIII^e^ siècle : le Plan de Turgot (*Fig. 60*), réalisé vers 1735 par le graveur Bretez et qui passe pour le plan le plus détaillé de l'époque[23]. Ce plan renoue avec les habitudes du XVII^e^ siècle, tant en matière d'orientation (le sud est en bas à gauche du plan) que de représentation avec une perspective cavalière. La différence tient dans une représentation systématique et précise de l'ensemble des bâtiments de la capitale. Les bâtiments de la Foire Saint-Germain ne font pas exception : deux longues halles sont représentées, surmontées chacune d'un toit à deux pans. Cinq ailes viennent relier ces deux corps principaux et ménagent quatre cour intérieures. Seul

23 Arnaud 2008, p. 58-59 en fait l'étude sommaire dans son ouvrage. Si l'auteur pointe du doigt la précision globale, ajoutant que cette vue est « considérée comme un des plus fidèles à la réalité qu'il soit possible de dresser », elle n'est pas exempte de défauts puisque « l'auteur a triché à de multiples reprises, en particulier en ce qui concerne la largeur des voies de circulation ». Pour permettre de rendre visibles les espaces publics et les rues (surtout celles parallèles au plan de représentation) il est en effet nécessaire de les élargir, sans quoi elles resteraient cachées derrière les bâtiments.

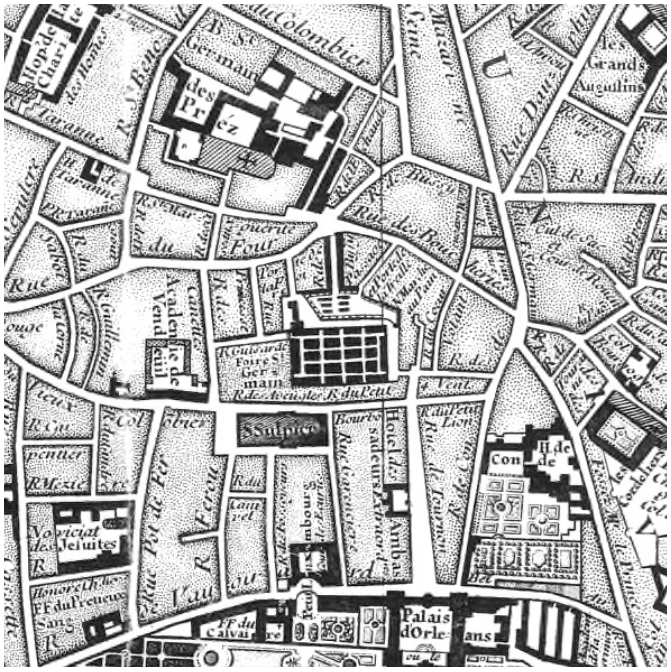


Fig. 58. Plan de Roussel, extrait. 1730.

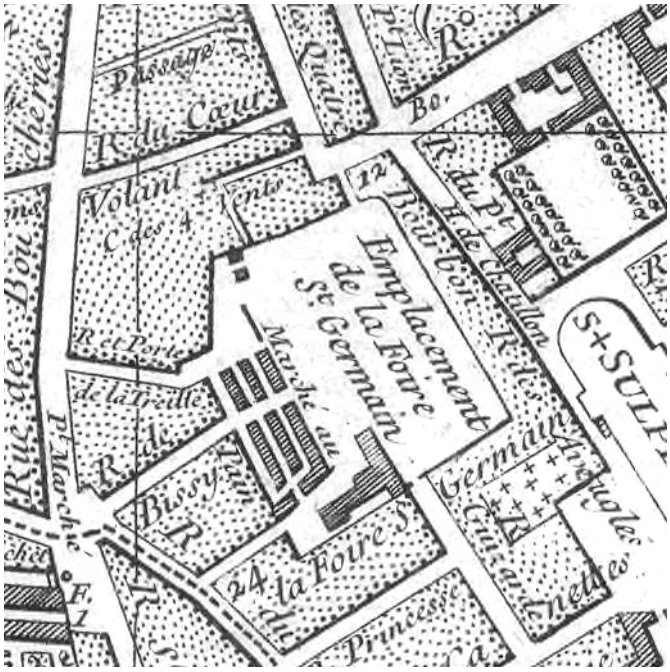


Fig. 59. Plan de Jaillot corrigé, extrait. 1762.

le pignon ouest de la halle nord est visible, et présente non seulement une grande porte surmontée d'une fenêtre de taille similaire, mais également deux contreforts qui viennent le soutenir. Sur la façade nord, deux portes secondaires sont entourées de contreforts, tandis que le reste de la façade est aveugle. La porte principale, au centre, prend place dans un pavillon d'organisation symétrique à deux étages et au toit percé de lucarnes qui se détache de la façade : c'est le seul plan de Paris à montrer cette particularité de la Foire.

Les toits des halles sont percés quant à eux d'un premier niveau de lucarnes, immédiatement au-dessus de la façade : les lucarnes au-dessus des deux portes latérales sont beaucoup plus grandes que les autres. Un second niveau de lucarnes vient apporter de la lumière dans les parties hautes de la toiture.

Le plan de Jaillot corrigé (*Fig. 59*) en 1762 montre l'espace forain entièrement vide, puisque cette même année a vu les halles de la Foire disparaître dans un incendie[24]. Seul subsiste le bâtiment perpendiculaire aux halles qui était venu s'y ajouter sur les plans dès 1648. En 1763, le plan de Deharme (*Fig. 61*) montre à nouveau la Foire complète, avec des voies internes qui paraissent plus larges que précédemment mais reprennent la disposition du plan de Delagrive, à la différence près que toutes les rues débouchent maintenant au sud. En 1775, le plan de Jaillot, de nouveau mis à jour, présente une organisation interne légèrement modifiée. Les cinq rues nord-sud coupent l'intérieur de la Foire à intervalles irréguliers, mais plus aucune ne débouche au sud. Les rues est-ouest sont toujours régulièrement espacées mais trois débouchent à l'est, tandis qu'à l'ouest, la rue la plus au nord ne débouche plus directement mais fait une chicane avant de permettre l'accès depuis la rue Guisarde. Plus intéressant, la partie sud-ouest de la Foire semble avoir été remplacée par un bâtiment qui empiète tant sur les bâtiments à l'extérieur de l'enceinte que sur une partie des anciennes halles. On distingue à peine, à l'intérieur de ce bâtiment rectangulaire quelques points en cercle : il est particulièrement tentant d'y voir le Wauxhall de la Foire Saint-Germain.

24 Un plan attribué à Vaugondy et disponible sur la page Wikipedia des « Plan de Paris », dont nous n'avons pas pu retrouver la source, y est indiqué comme datant de 1760. Il représente les halles de la Foire dont seuls subsistent les murs périphériques, le cœur des halles foraines ayant disparu. Si cette représentation correspond bien à l'état de la Foire après son incendie, il convient donc de revoir la date de réalisation de cette copie du plan de Vaugondy. Si une première version de ce plan datant de 1760 existe bien et montre la foire complète, celle présente sur Wikipedia ne peut dater que de 1762 au plus tôt.

Fig. 60. Plan de Turgot, extrait. 1735.

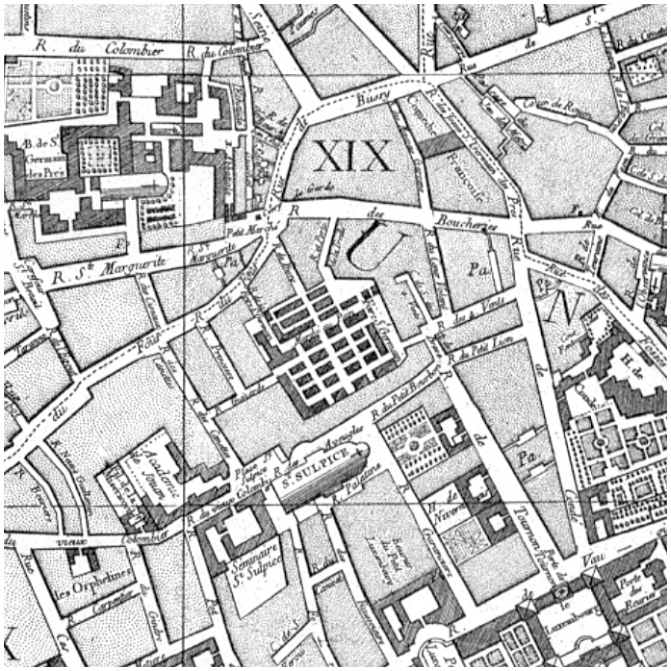


Fig. 61. Plan de Deharme, extrait. 1763.

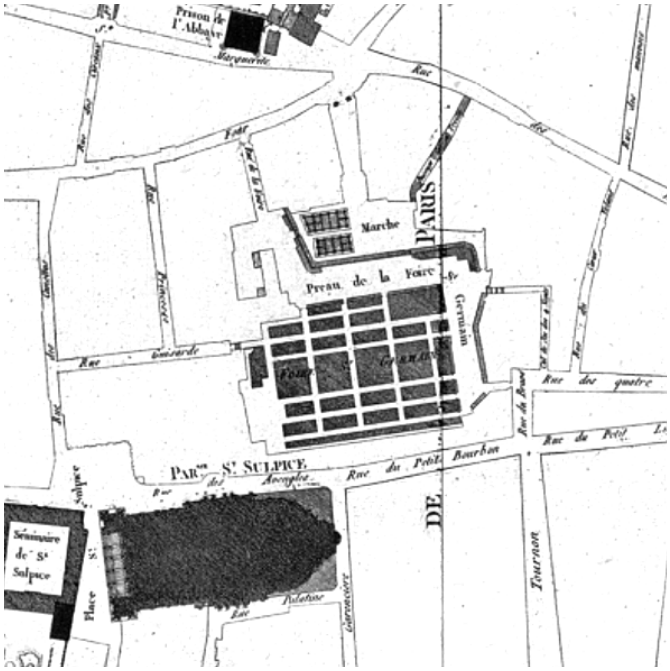


Fig. 62. Plan de Verniquet, extrait. 1790.

Le dernier plan de notre corpus, celui de Verniquet (*Fig. 62*) dressé en 1790, ne montre plus rien à l'emplacement de ce nouveau bâtiment, simplement un espace vide. Les six rues est-ouest représentées se séparent en deux groupes principaux et cinq d'entre elles (les plus au sud) débouchent à l'est. Trois des rues perpendiculaires débouchent au nord, et un îlot plus gros que les autres se détache au nord-est de la Foire. L'extension perpendiculaire, apparue en 1648, apparaît maintenant non pochée comme le reste du bâti générique, témoignage possible d'un changement de statut.

Cette confrontation des plans de Paris du XVI^e^ au XVIII^e^ siècle fait apparaître plusieurs difficultés, la première étant de savoir si les évolutions ou les différences résultent d'erreurs, de simplifications, de choix de représentation. Réciproquement, les ressemblances tiennent-elles plutôt d'une inspiration voir d'un copiage des plans ou d'une réelle continuité ? Le plan de Turgot est suffisamment précis sur d'autres bâtiments parisiens d'importance, et l'image de la Foire suffisamment spécifique pour que l'on puisse considérer qu'elle est fidèle à son état de 1735. À partir de là, certains plans précédents paraissent complètement fantaisistes : les trois halles accolées sont à exclure, de même que les neuf ailes parallèles entre les deux corps principaux. En revanche, les portes axiales des halles surmontées de fenêtres se retrouvent déjà près de deux siècles plus tôt sur le plan de Bâles, de même que les lucarnes. Quant au pavillon central de la façade nord, il pourrait s'agir d'une addition des années 1730, tant aucun indice laissant suggérer une telle forme n'existe dans les plans (ni avant, ni, plus curieusement, après). Les plans de la Foire après l'incendie de 1762 tendent à montrer une continuité de l'organisation foraine, mais comme on le verra, c'est notamment dû au mode de représentation puisqu'à part la disposition des îlots, la morphologie de la Foire de 1763 et des années suivantes n'avait plus grand chose à voir avec la Foire d'avant l'incendie.

Les bâtiments vus par les architectes et les comptables

Les plans de Paris ont permis de dégager une première image des halles de la Foire Saint-Germain avant son incendie. Des plans d'architectes, de comptables ou de géomètres viennent compléter ce tour d'horizon. Nous n'en avons identifié que neuf, c'est peu pour un bâtiment présenté par certains comme une merveille archi-

tecturale, d'autant plus qu'ils se concentrent majoritairement après l'incendie de la Foire.

Groupe	Date	Désignation	Référence
1	post-1762	Plan des loges foraines	A. N. N/III/Seine 264/2
	1810 (av. 1762)	Préau de la Foire Saint-Germain	Gallica ark:/12148/btv1b103030818
2	1770	Plan cadastral de la Foire	A. N. N/III/Seine 139/2
	1772	Plan de la Foire Saint-Germain	A. N. N/III/Seine 262/2
	1772	Plan de situation des projets	A. N. N/III/Seine 262/4
	~1790	Croquis de la Foire Saint-Germain	BHVP CP4851 fol. 17
3	~1770	Plan d'occupation des halles	BHVP CP4851 fol. 19
	~1770	Plan d'occupation des halles	BHVP CP4851 fol. 16
4	1764	Plan du puisard de la foire entre la quatrième [et] la cinquième traverse	BHVP CP4851

Table 3. Liste des plans de la Foire étudiés.

La diversité de ces plans invite à les étudier par groupe. Un premier groupe est composé de deux plans, celui daté par erreur de 1810 présentant le plan de l'ensemble des halles foraines probablement avant l'incendie de 1762 et le plan des loges foraines conservé aux Archives Nationales ; ils ont en commun de montrer l'organisation des loges foraines probablement avant l'incendie. Un second groupe est composé de plans de réaménagement ou de projets pour la Foire Saint-Germain en 1772 conservés aux Archives Nationales ; il contient également un plan cadastral de la Foire et un croquis de plan conservé à la Bibliothèque Historique de la Ville de Paris ; le groupe 2 concerne donc l'état de la Foire après l'incendie. Deux plans d'occupation des halles conservés à la Bibliothèque Historique de la Ville de Paris (ci-après BHVP) viennent apporter une vision comptable de l'organisation des halles foraines et composent un autre groupe. Enfin, un plan d'aménagement d'une des cours de la Foire forme le dernier groupe, qui vient éclairer les détails architecturaux des halles.

Premier groupe

Dans le premier groupe, le plan daté de 1810 et conservé à la Bibliothèque Nationale de France[25], ci-après BnF, (*Fig. 63*) est en réalité probablement le plus vieux concernant la Foire de notre corpus. Nous souhaitons dans un premier temps revoir sa datation, ce qui mènera à en observer de nombreux détails. Le nord est orienté en bas sur ce plan qui ne représente que ce qui est dans l'enceinte de la Foire. Le bâtiment qu'on aperçoit en bas à droite (et donc au nord-ouest en réalité) n'apparaît sur les plans de la ville qu'à partir de 1648, de même, la forme du préau est celle résultant de la construction du Marché Saint-Germain en 1726. D'un autre côté, la Foire ayant disparu en 1811, la datation de 1810 reste possible. Néanmoins, on distingue clairement à l'intérieur du plan un nombre important de petit carrés que l'on ne peut qu'attribuer à la représentation de la base des poteaux soutenant la charpente en bois des halles. Or, on sait que cette charpente a définitivement disparu lors de l'incendie de 1762. Ce plan représente donc a priori l'état de la Foire entre 1726 et

25 Réserve, FOL-VE-53.

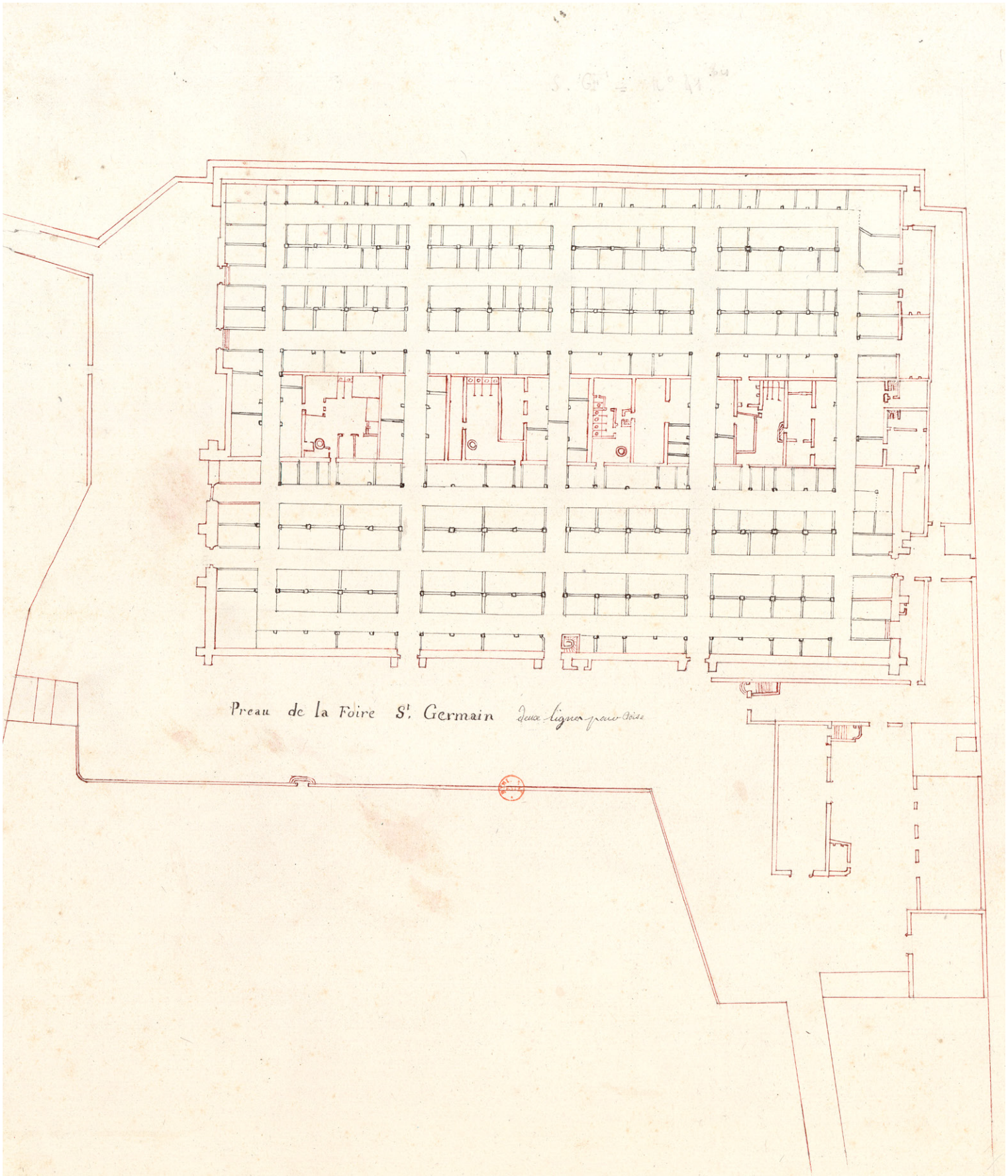


Fig. 63. Plan montrant l'organisation de la Foire Saint-Germain.
Le plan est daté de 1810 sur Gallica, mais nous proposons de le dater entre 1726 et 1762.

A 29048

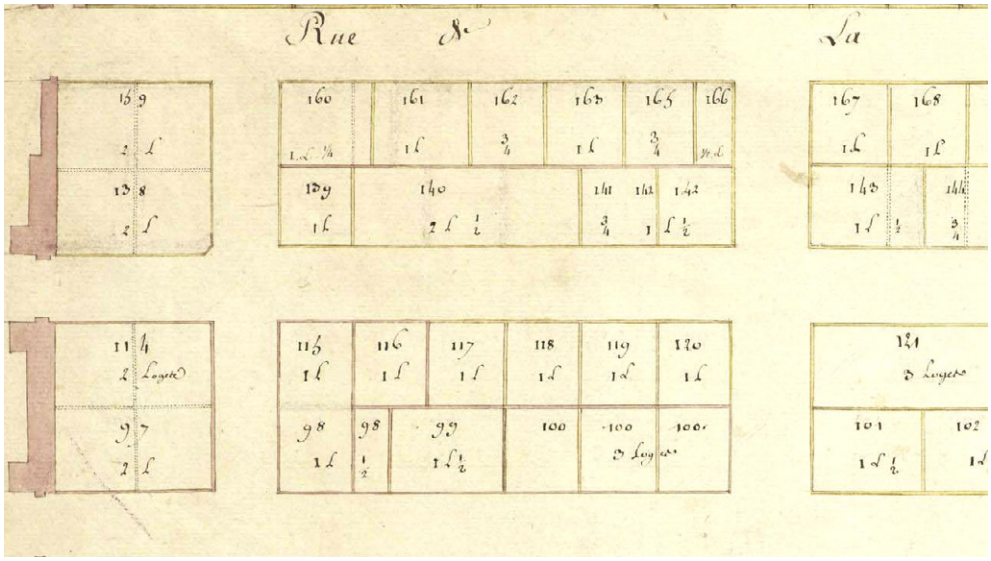


Fig. 64. Extrait du plan N/III/Seine/264/2 montrant la numérotation des loges foraines et l'indication de leur surface en loges.

1762. Le plan des loges foraines (*Fig. 65*) conservé aux Archives Nationales présente les mêmes informations mais à une date plus tardive. Par les formes pochées de rose indiquant la structure en pierre des halles, on voit que cette structure est discontinue tant au sud-est qu'au sud-ouest. La morphologie des halles et leur structure implique qu'une telle discontinuité est le signe qu'une partie des halles ait été détruite ce qui place ce plan après l'incendie de 1762. Une nouvelle porte est percée au sud-est des bâtiments de la Foire, ce qui n'apparaît sur les plans de Paris qu'à partir du plan de Jaillot en 1775. Enfin, en haut à droite du plan, un ensemble de loges foraines est regroupé (les séparations entre les loges étant indiquées en pointillés) où prit place le Wauxhall de la Foire, ouvert en 1769. Le plan pourrait donc dater de la fin des années 1760 ou du début des années 1770. Ces deux plans ont ceci en commun qu'ils montrent des subdivisions de l'espace à l'intérieur même des halles ; dans ce contexte, ces espaces subdivisés sont appelés « loges ». Ce terme recouvre deux sens. Le premier désigne un espace délimité de la Foire, attribué (loué) à une personne. Le seconde désigne une unité de mesure permettant d'estimer la dimension de ces espaces.

Sur le plan de la BnF, les subdivisions sont parfaitement visibles et leur représentation montre qu'il s'agit de parois légères. Sur le plan des Archives Nationales, chacune de ces loges porte un numéro, de 1 (en bas à gauche), à 228 (en haut à droite, puis à l'intérieur des anciennes cours). En dessous du numéro est indiquée la dimension de la loge… en loge. La loge 161 par exemple (*Fig. 64*), porte l'indication « 1L », tandis que la loge 4 porte l'indication « 3L ». Ce « L » peut être compris grâce à la loge 100 où il est indiqué en toutes lettres « 3 Loges ». Mais à quoi correspond cette unité ? En prenant en compte l'imprécision du plan et son échelle, et à partir de la loge 161 par exemple, une loge correspond à un espace carré de deux toises de côté, soit environ 3,6 m, pour une surface de près de 13 m^2. Ces deux plans permettent également de visualiser les limites et dimensions des deux halles, mais également des cinq ailes qui les relient et quatre cours qui les séparent. Le plan de la BnF nous offre même le luxe de visualiser les lieux d'aisance de la Foire Saint-Germain, situés dans ces cours. On distingue en effet les petites cabines au fond desquelles est représenté un trou : les toilettes elles-même. Sur ce même plan apparaissent les puits qui, si l'on en croit les Frères Parfaict, permettaient de puiser de l'eau en cas d'incendie, mais la lecture du plan d'aménagement d'une cour nous montrera qu'ils servaient également vraisemblablement à l'approvisionnement en eau potable. Ces

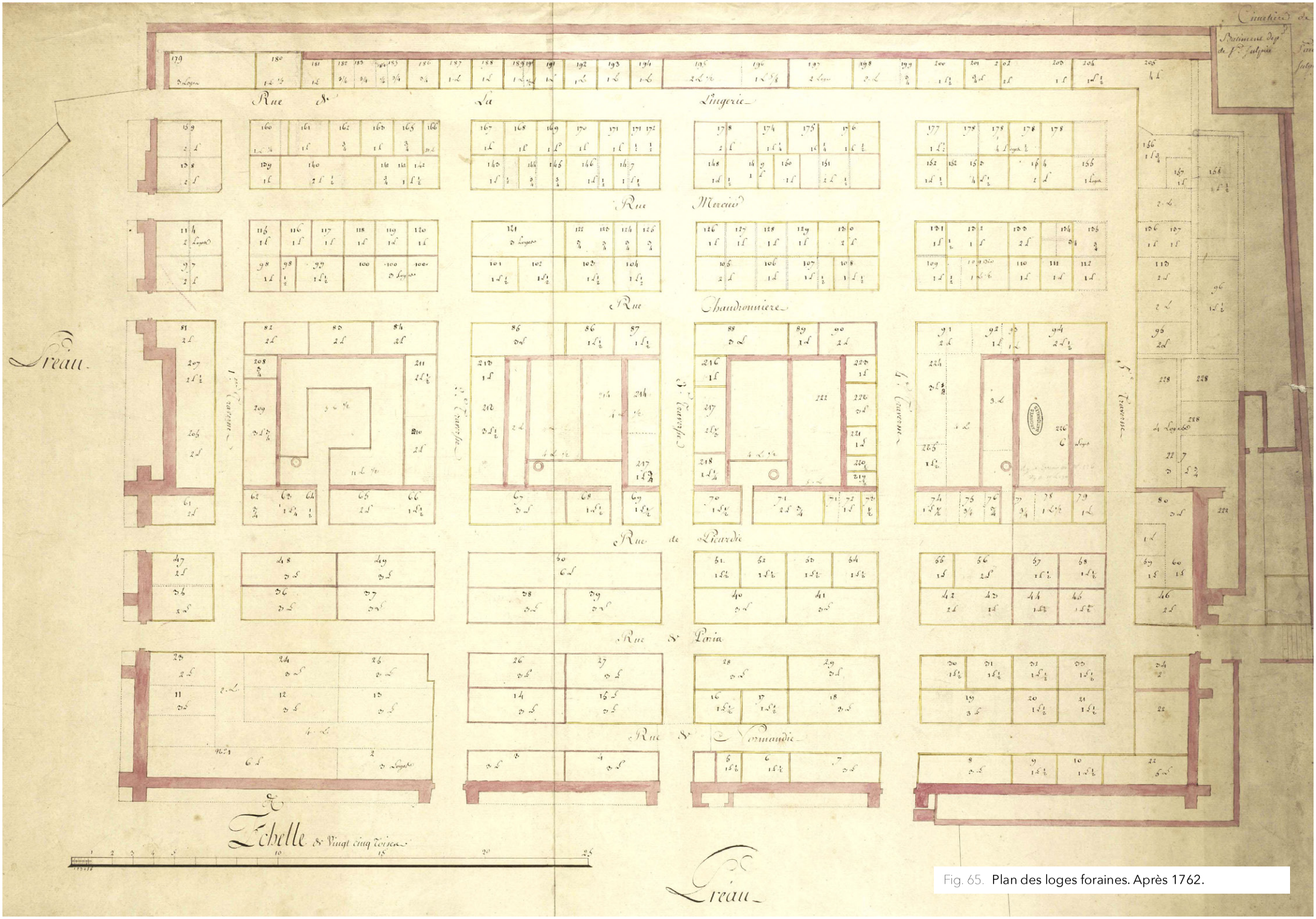


Fig. 65. Plan des loges foraines. Après 1762.

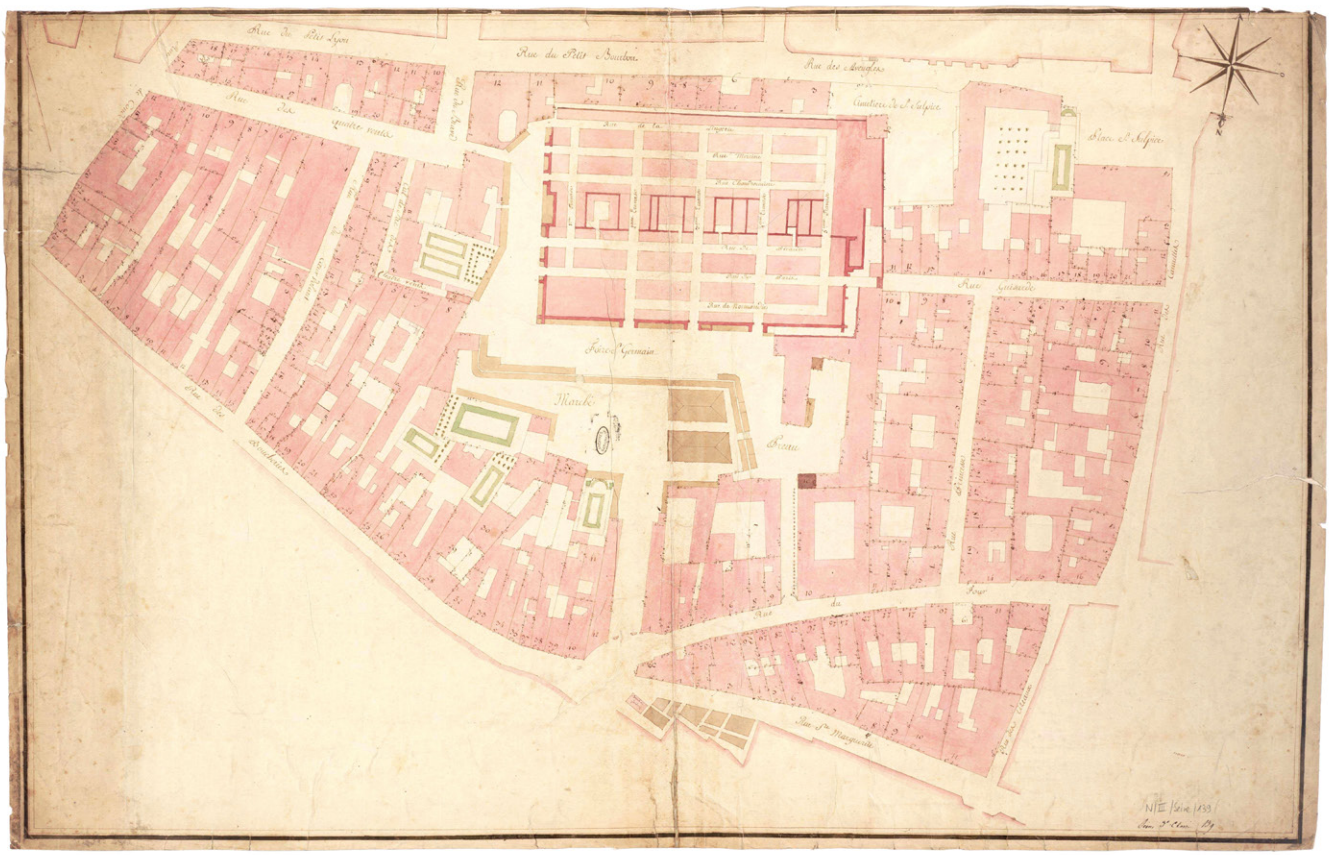


Fig. 66. **Plan cadastral de la Foire et de ses alentours. Après 1762.**

puits persistent en tous cas après l'incendie d'après le plan des Archives Nationales, qui ne montre en revanche plus les toilettes[26].

Deuxième groupe

Le deuxième groupe est composé de trois plans conservés aux Archives Nationales. Parmi eux, un plan du cadastre (*Fig. 66*) montre l'ensemble des parcelles aux alentours de la Foire, les masses bâties étant pochées de rose. La représentation de l'intérieur de la Foire est tout à fait similaire à celle du plan des loges foraines (*Fig. 65*) sans toutefois préciser les limites d'attribution des loges (qui ne relèvent pas du plan cadastral). Les zones pochées de marron, visibles sous les halles de la foire sur ce plan, semblent marquer les auvents et structures légères ; on peut donc en déduire que les murs de la foire, subsistant après l'incendie, servaient de support à des toits légers qui permettaient peut-être d'abriter des marchands[27].

Dans ce même groupe, le Plan de la Foire Saint-Germain (A.N. N/III/SEINE 262/2) montre les propositions d'un architecte pour l'aménagement de la Foire Saint-Germain (*Fig. 68*). Il est daté en haut à droite de l'année 1772[28], soit dix ans après la destruction de la charpente de la Foire dans un incendie. Malgré cela, l'architecte semble proposer des réaménagement majeurs de la Foire si l'on en croit notamment la lecture de la petite note inscrite en haut à gauche « les lignes marquées A sont les lignes du milieu des rues comme elles subsistent et les rues ont neuf pieds

26 Les toilettes ont probablement persisté même après l'incendie. En effet si le plan indique bien des surfaces en « loges » pour les espaces où étaient précédemment détaillés les lieux d'aisance, il n'y est affecté aucun numéro de loge. Ils n'étaient donc pas loués ou occupés par des marchands.

27 Si ces zones, entourant les murs extérieurs de la foire, sont bien délimitées par des pointillés sur le plan d'attribution des loges des Archives Nationales (An.N. N/III/Seine 264/2), aucun numéro n'y est indiqué, ce qui semble suggérer que leur attribution n'était pas du ressort de l'administration foraine.

28 La situation de cette mention « Année 1772 » et le fait qu'elle soit écrite à l'envers par rapport au plan peut néanmoins semer le doute. Le plan est conservé au sein d'une liasse d'autres plans de projets pour l'année 1772, mais il n'est pas exclu que la mention des numéros de projet et de l'année du projet ait été appliquée *a posteriori* par l'architecte lors d'un éventuel classement.

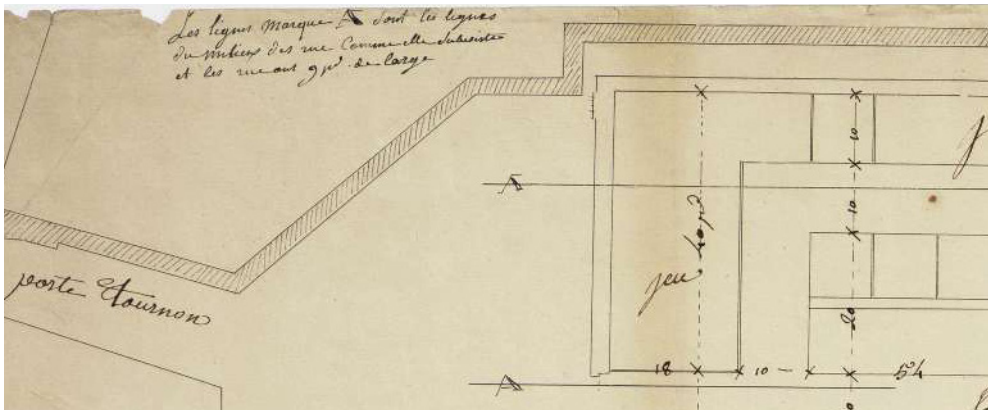


Fig. 67. Extrait du plan N/III/Seine/262/2 montrant la note manuscrite et l'emplacement du jeu.

de large »[29]. Or, le plan montre explicitement que ces lignes ne sont pas au milieu des rues dessinées, ce qui implique un décalage complet de la voirie à l'intérieur de la Foire, décalage qui devient d'autant plus explicite lorsque l'on superpose ce plan avec ceux montrant les loges foraines avant et après l'incendie. L'architecte propose en réalité de rebâtir la façade est de la foire, de réduire la taille des cours entre les deux anciennes halles (mais d'y conserver les toilettes). C'est particulièrement visible en observant la position des puits, auparavant dégagés des murs des cours, et qui sont dans cette proposition presque accolés à ceux-ci. La cour la plus à l'est porte l'inscription « buvette » ce qui ne laisse aucun doute sur sa destination projetée. Mais c'est probablement à l'ouest que les modifications sont les plus importantes : une des cours est supprimée, de même que la cinquième rue de traverse (c'est ainsi que sont nommées les rues nord-sud) pour y aménager un « Jeu » dédié semble-t-il à la « danse de corde »[30]. La mention « jeu » est indiquée à six autres reprises dans ce projet, sur des espaces nettement plus réduits en revanche : dans chaque angle de la Foire et à deux emplacements supplémentaires au sud. Par ailleurs, à l'est, une « Place destinée pour des réserves » ménage un espace pour du stockage. Dans l'alignement de la rue de traverse centrale, au sud, est installée une chapelle ou tout du moins un autel sur quelques marches.

Le troisième plan de ce groupe (*Fig. 69*), conservé dans la même liasse que le précédent aux Archives Nationales (A.N. N/III/SEINE 262/4), reprend bon nombre de propositions, sauf le changement d'alignement des rues : en lieu et place du jeu destiné à la danse de corde, deux projets sont positionnés, sur lesquels nous aurons l'occasion de revenir : un projet pour une salle de spectacle vers 1772, et ce qui semble être le Vauxhall de la Foire. Ce plan porte également la mention, en haut à droite, « N°6, année 1772 ».

Le plan en croquis de la Foire Saint-Germain (*Fig. 70*) conservé à la BHVP est le dernier document de ce groupe et malgré son aspect brouillon, il offre de nombreuses informations sur l'état du bâtiment de la Foire et des environs. Vraisemblablement dressé dans les années 1790, si l'on en croit la mention du « nouveau passage » permettant de relier le préau à la rue des boucheries[31] et de l'absence de bâtiment à l'emplacement du Vauxhall, le plan indique la désignation de nombreux éléments de la Foire. On y apprend que de nombreuses échoppes prenaient place le long des murs des bâtiment de la Foire (qui ne soutenaient plus, à cette époque, de charpente), tandis qu'un bâtiment de remise et un corps de garde étaient adossés au mur séparant le préau du marché. La fonction du bâtiment perpendiculaire aux

29 Nous avons modernisé l'orthographe.

30 Le terme jeu désigne les salles de spectacles. Quant à la danse de corde, il s'agit d'une pratique remontant au moins au XVII[e] siècle consistant en des numéros de funambulisme.

31 Ce passage apparaît en effet sur le plan de Paris de Verniquet, publié en 1790 et donc dressé les années précédentes. La mention sur ce même plan de la « Place des Marchandes de marées depuis la suppression du marché à la marée au marché Sainte-Marguerite » permettrait également de mieux situer ce plan dans le temps. Si le marché Sainte-Marguerite a bien été identifié à quelques pas de la Foire Saint-Germain, à l'intersection des rues de Bussy, du Four et des Boucheries, nous n'avons pas pu trouver la date de la suppression de ce marché.

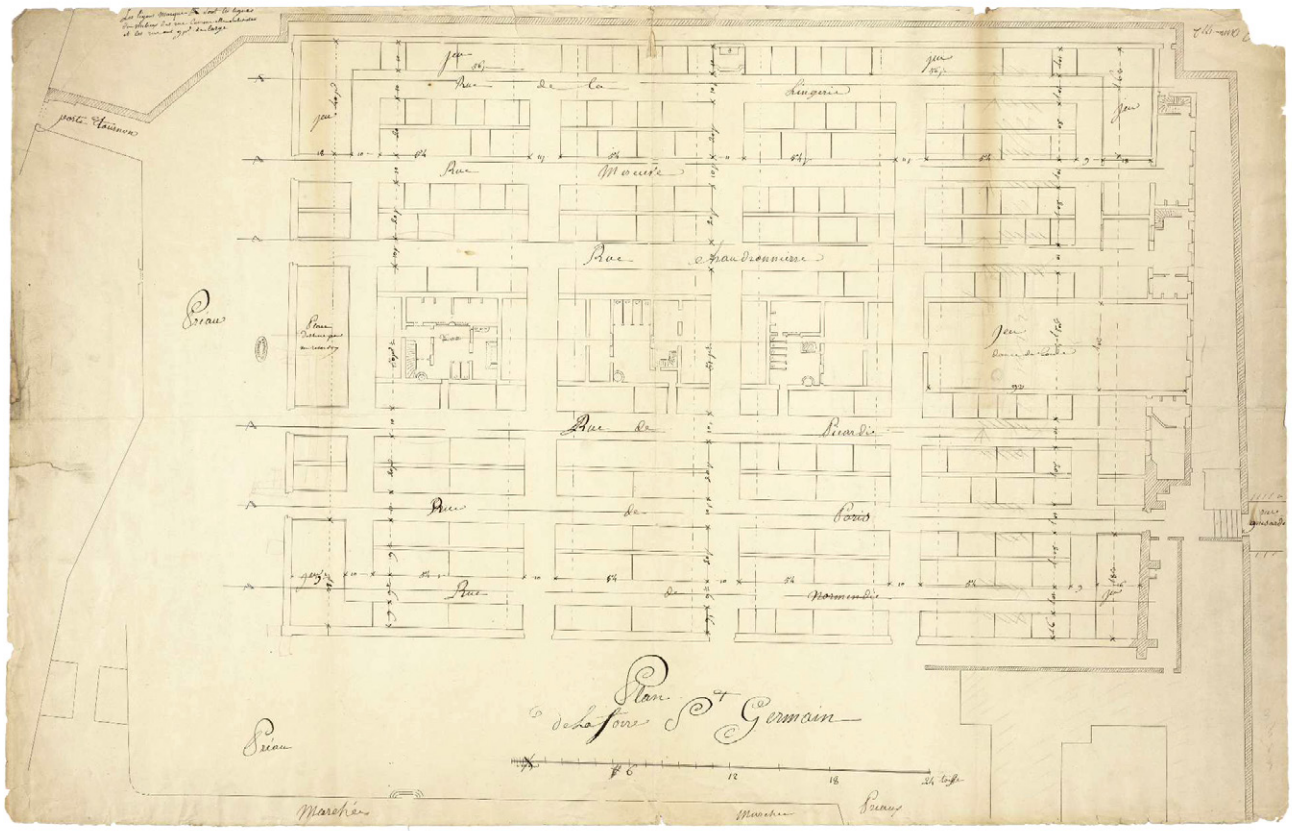


Fig. 68. **Plan de de la Foire Saint-Germain. 1772.**

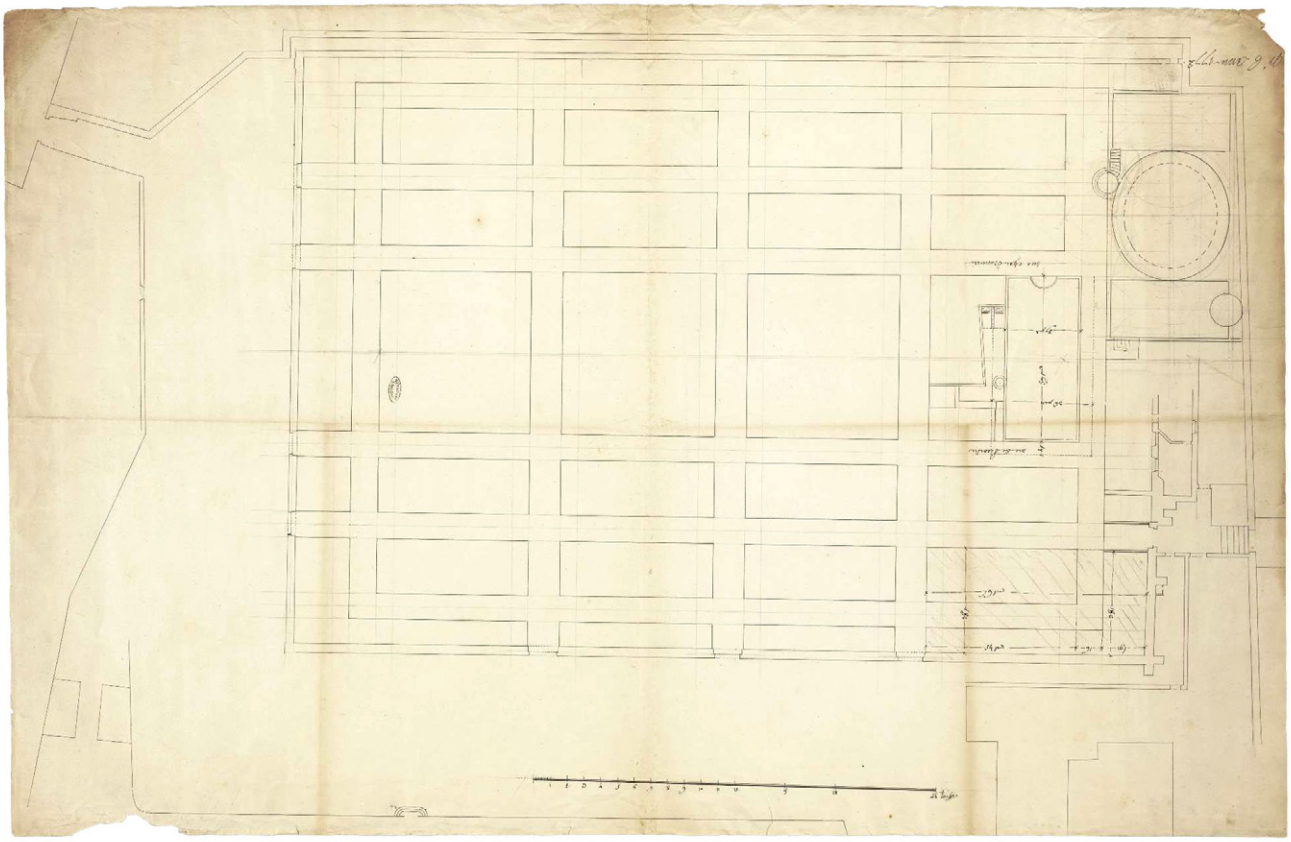


Fig. 69. **Plan de situation de projets de construction dans la Foire. 1772.**

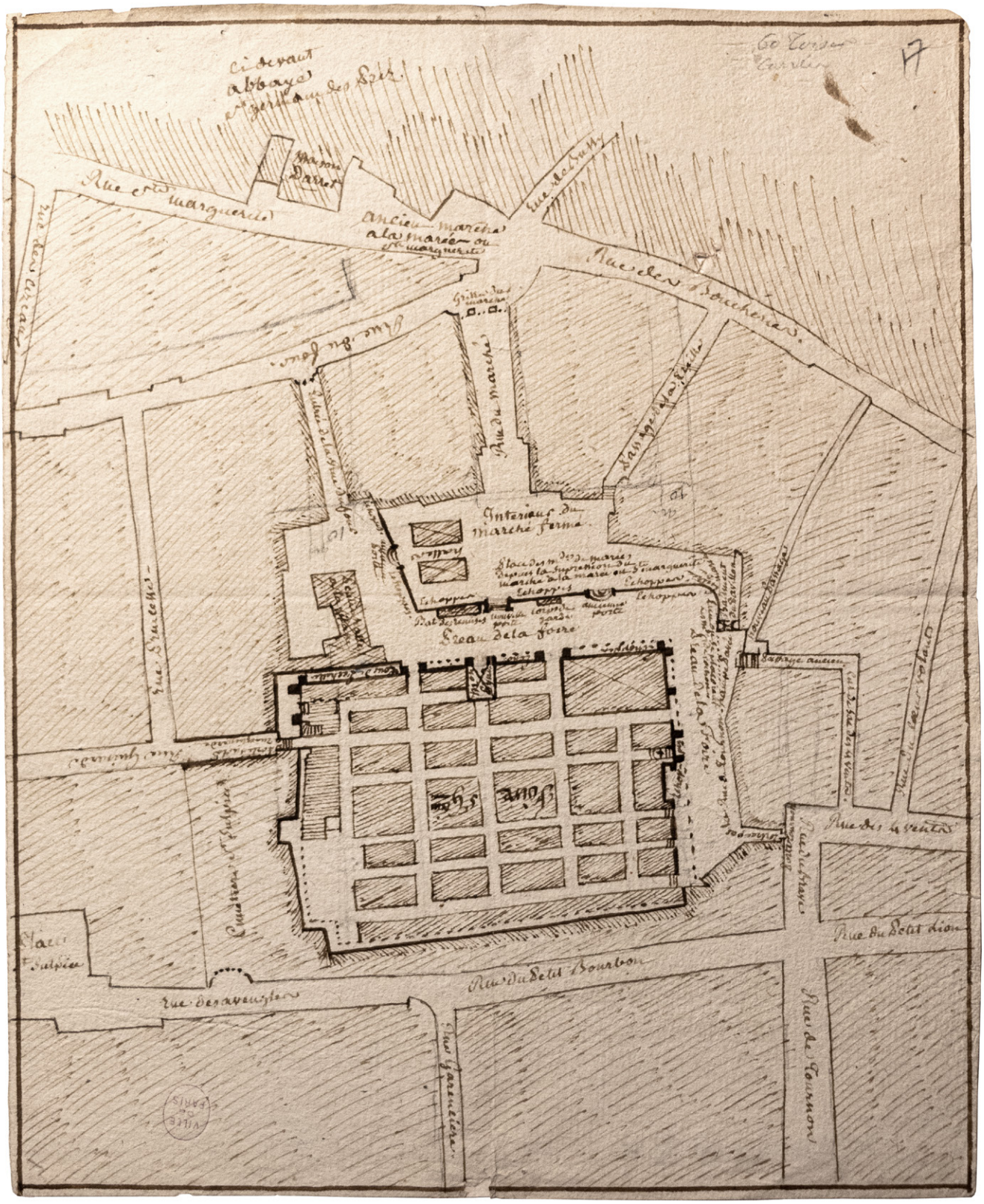


Fig. 70. **Croquis de plan de la Foire Saint-Germain.**

halles est clairement explicitée : il s'agit d'une « Halle à la filasse » qui est en réalité séparée par la foire elle-même d'un espace, le « tour de l'échelle » qui désigne une servitude d'accès autour d'un bâtiment[32]. À l'intérieur de la Foire elle-même, notons la présence au-dessus de l'entrée principale au nord d'un bâtiment sur lequel semble

32 Cette notion de servitude est inscrite dans le Code Civil à l'article 686 promulgué le 10 février 1804. Nous ne pensons pas, néanmoins, que cette date puisse être utilisée pour dater plus précisément ce plan, puisque la notion elle-même devait exister avant cette date.

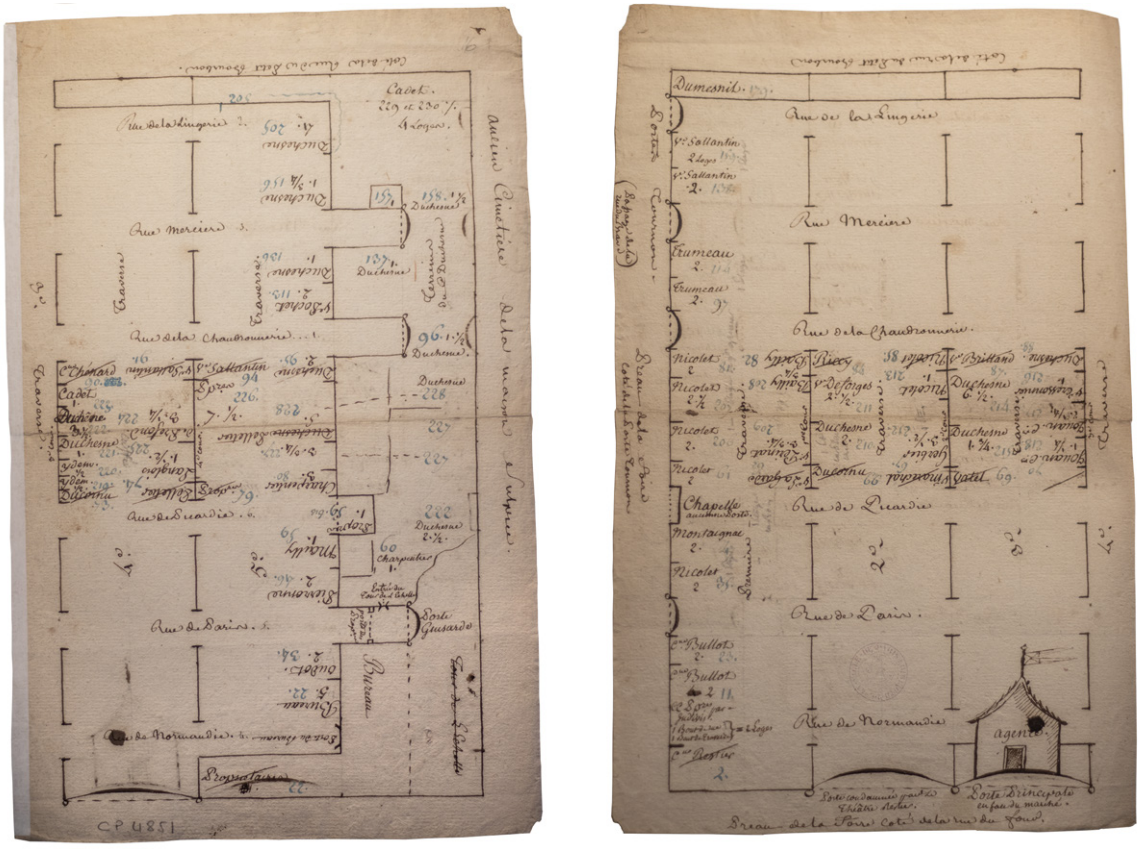


Fig. 71. Recto (à gauche) et verso (à droite) du plan d'attribution des loges foraines CP4851 fol. 19.

inscrit « Mon Synd. », que l'on peut interpréter comme « Maison du Syndic », ce qui permet d'identifier sur le plan la position des bureaux de syndic de copropriété de la Foire. Il s'agirait donc du pavillon d'entrée que l'on ne voit apparaître que sur le plan de Turgot au premier tiers du XVIII[e] siècle. Apparaît également sur ce plan la position de la chapelle de la Foire, en lieu et place d'une des portes donnant accès aux anciennes halles.

Troisième groupe

Le troisième groupe comporte deux jeux de plans représentant schématiquement l'intérieur de la Foire et les loges qui la composent. Ils permettent l'inscription des propriétaires (ou locataires) de chacune de ces loges. La représentation des bâtiments fait fi de toute vérité architecturale de telle sorte que les proportions des bâtiments ne sont pas respectées. Chaque plan est représenté en deux moitiés réparties sur le recto et le verso d'une même feuille (*Fig. 71*). De plus, les deux plans n'utilisent pas les mêmes conventions : si l'un est divisé sur deux feuilles selon un axe est-ouest (*Fig. 73*), l'autre l'est selon un axe nord-sud. Le recollement des informations et des deux moitiés de plans elles-même nécessite donc quelques réflexions (*Fig. 72*), mais il semble que le choix de représentation du second plan (*Fig. 74*), particulièrement inadapté en réalité à la subdivision intérieure des loges foraines, n'ait pas permis de le compléter comme en témoignent les nombreux emplacements laissés vides. Sur chacun des plans, les traits et noms des propriétaires sont indiqués à l'encre noire, tandis que les numéros des loges sont inscrits à l'encre rouge ou bleue et correspondent au plan de numérotation des loges (*Fig. 65*).

La datation de ces documents nécessiterait de pouvoir croiser l'histoire de l'ensemble des noms inscrits, mais si certains sont effectivement bien connus dans l'histoire des spectacles forains (on y voit les emplacements de Restier, Nicolet, Ricci) ou de la Foire elle-même (Duchesne) d'autres sont d'illustres inconnus. La mention du théâtre de Restier bloquant une des portes nord de la Foire (« Porte condamnée pour

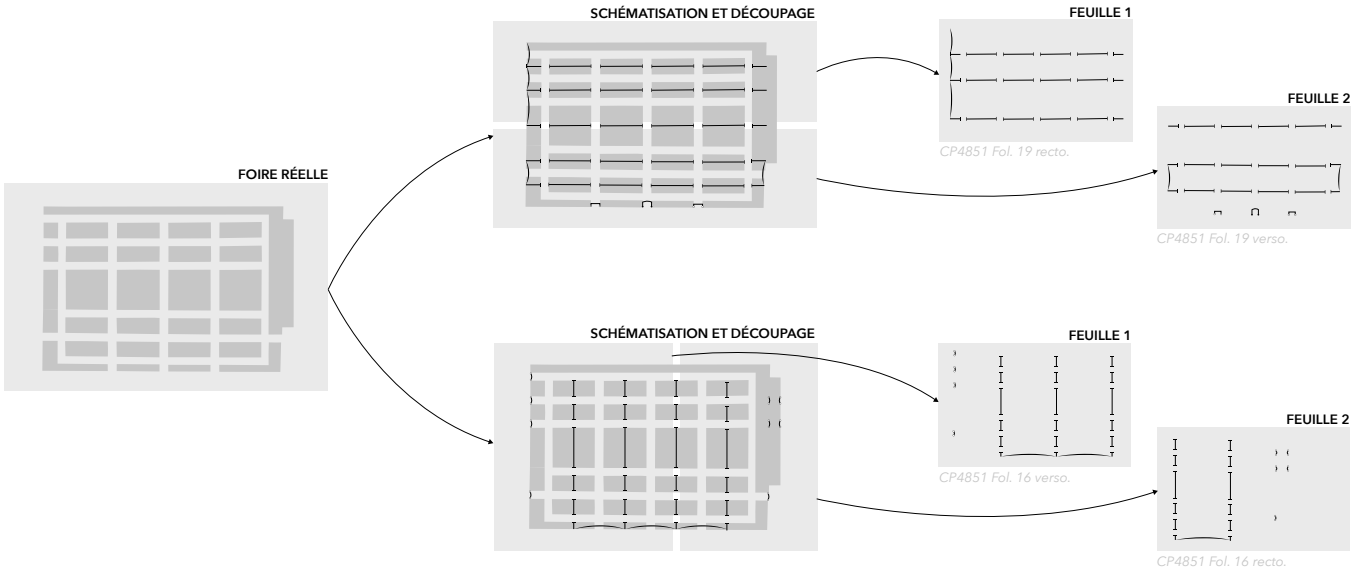


Fig. 72. Schéma du processus de représentation des plans BHVP CP4851 fol. 16 et 19.

le Théâtre de Restier », peut-on lire) place néanmoins ces plans après l'incendie de la Foire en 1762, tandis que l'absence de mention explicite du Wauxhall les place avant 1772. La porte principale, quant à elle, fait l'objet soit d'un dessin particulier sur l'un des plans, soit d'une mention qui ne laisse aucun doute : « Porte principale sous l'agence[33] », ce qui indique bien la position des bureaux du syndic de copropriété de la Foire ; ils semblent par ailleurs doublés d'un « bureau » dans l'angle nord-ouest des anciennes halles. La mention au crayon de « 1 étage » et « 2 étage » sur le second plan vient rappeler que les loges ne s'étendaient pas qu'au rez-de-chaussée, mais que les marchands et entrepreneurs de spectacles pouvaient également construire en hauteur, a fortiori depuis la disparition de la charpente.

Ces plans renseignent également sur l'étendue des propriétés de certains noms : Duchesne (également orthographié Duchêne) possède ainsi une grande partie de l'angle sud-ouest de la Foire et des terrains adjacents[34] (la mention « Terrains du sieur Duchesne » est clairement visible en dehors des bâtiments). De même, on y comprend la multiplicité des possessions des entrepreneurs de spectacles : Nicolet (Jean-Baptiste Nicolet), possède plusieurs loges foraines. Il y donnait probablement plusieurs types de spectacles ou louait à son tour ses possessions à des marchands.

Quatrième groupe

Enfin, le quatrième groupe est uniquement composé d'un « Plan du puisard de la foire entre la quatrième [et] la cinquième traverse » (*Fig. 75*). La particularité de ce plan peut faire sourire : il s'agit en effet de plans d'exécution pour de nouvelles latrines dans une des cours de la Foire Saint-Germain. On y voit dans un plan à projections multiples[35] (le fond est bien un plan de la Foire mais les différentes

33 Le TLFI rappelle le sens du mot « agence » en cette fin du XVIII[e] siècle : « établissement commercial servant d'intermédiaire ».

34 Faut-il voir dans ces possessions nombreuses un lien avec un poème anonyme conservé à la Bibliothèque nationale de France (Gallica : ark:/12148/bpt6k5510932j) nommé « L'incendie de la foire Saint Germain et sa nouvelle reconstruction. Poëme en quatre chants » ? En effet, le quatrième chant contient les vers suivants :

> Venez en foule examiner les charmes
> De cette Foire en dessein merveilleux,
> Grâce aux talents d'un homme industrieux.
> L'an précédent, sans ordre et sans justesse,
> Ce lieu n'avait ni grâce ni noblesse ;
> Duchêne seul, débrouillant ce chaos,
> Sut arranger élégamment ce clos.

35 Pour la définition d'un plan à projections multiples, voir Arnaud 2008, p. 66-69.

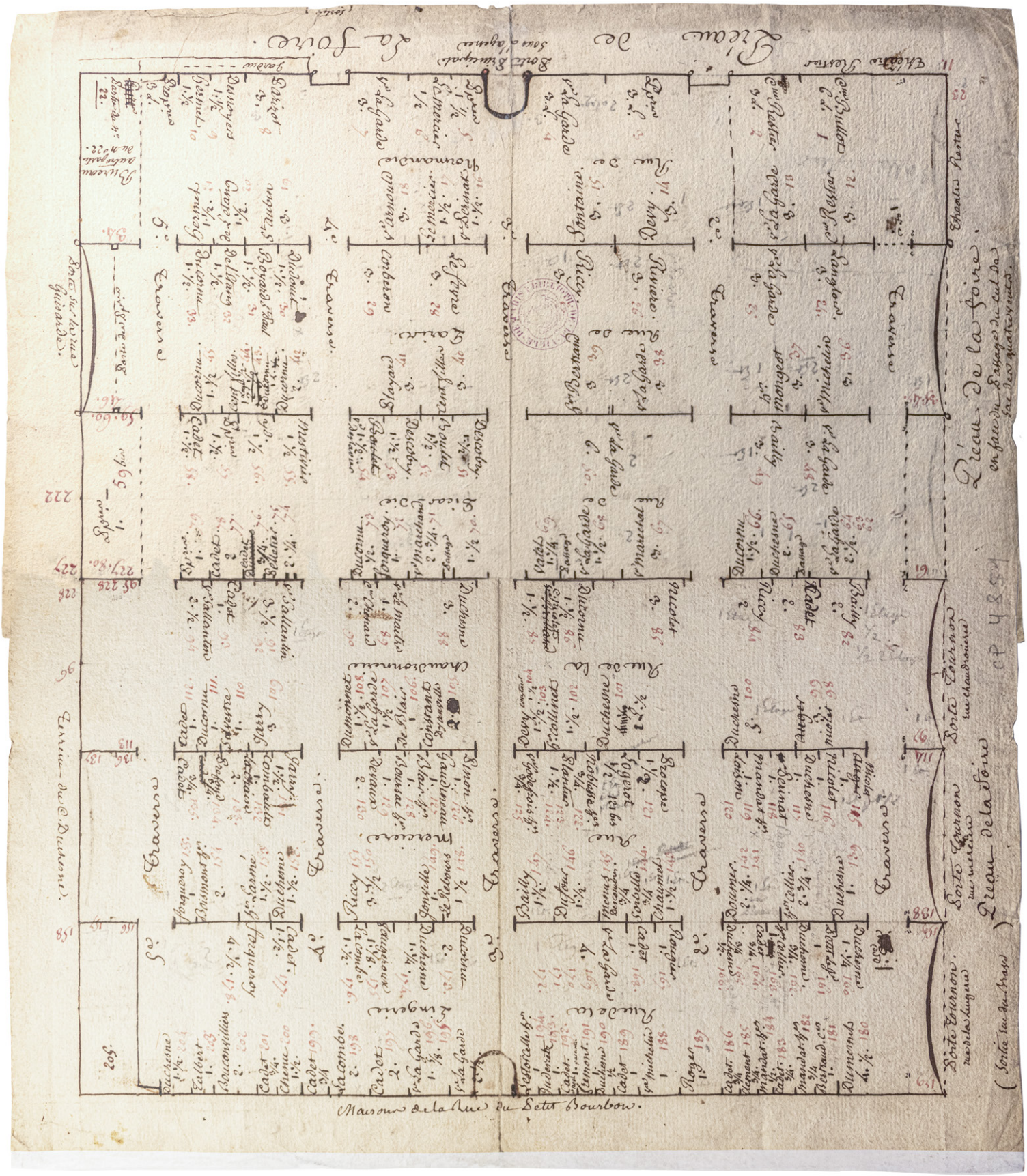


Fig. 73. **Recollement du recto et verso du CP4851 fol. 16.**

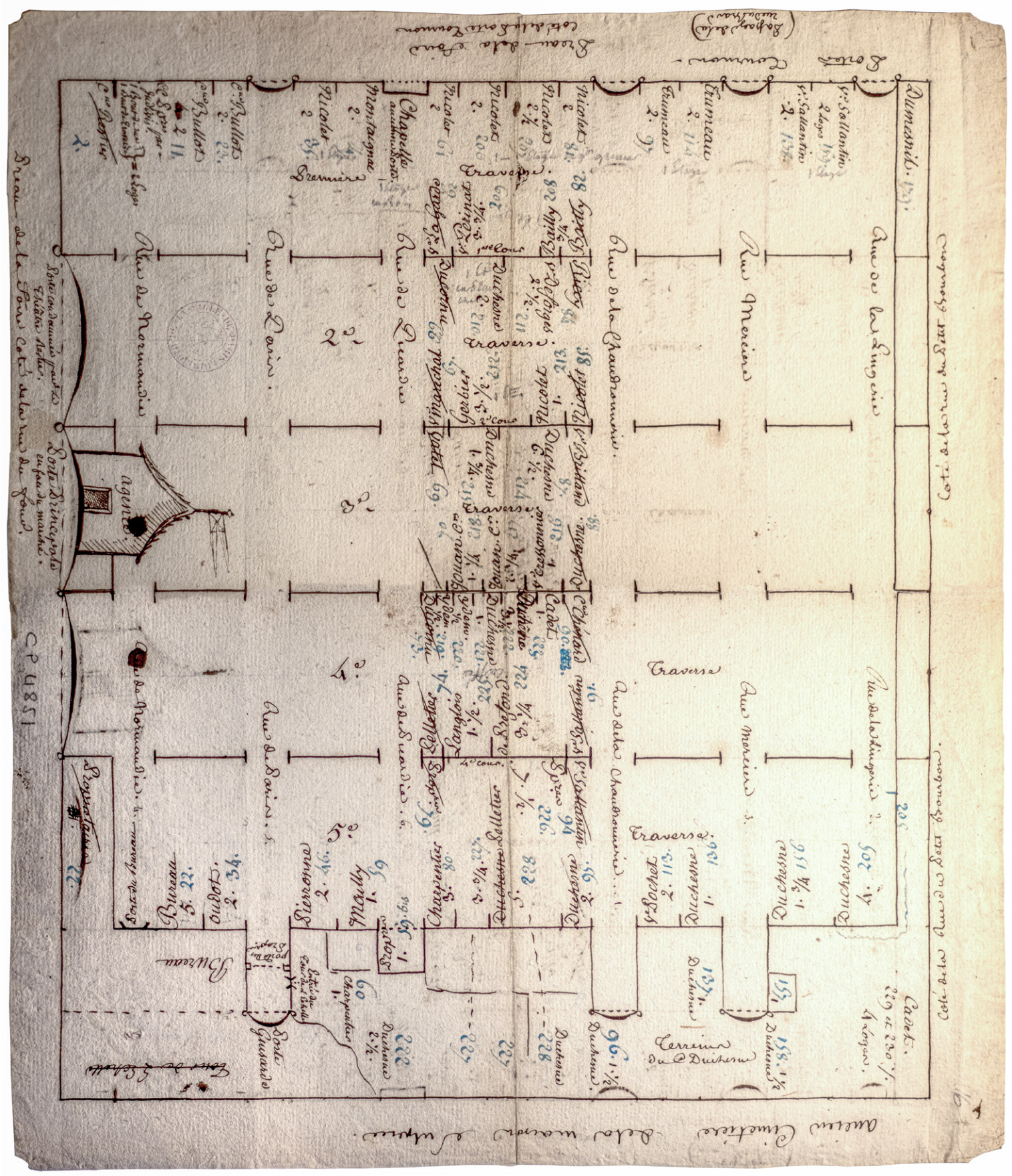


Fig. 74. **Recollement du recto et verso du CP4851 fol. 19.**

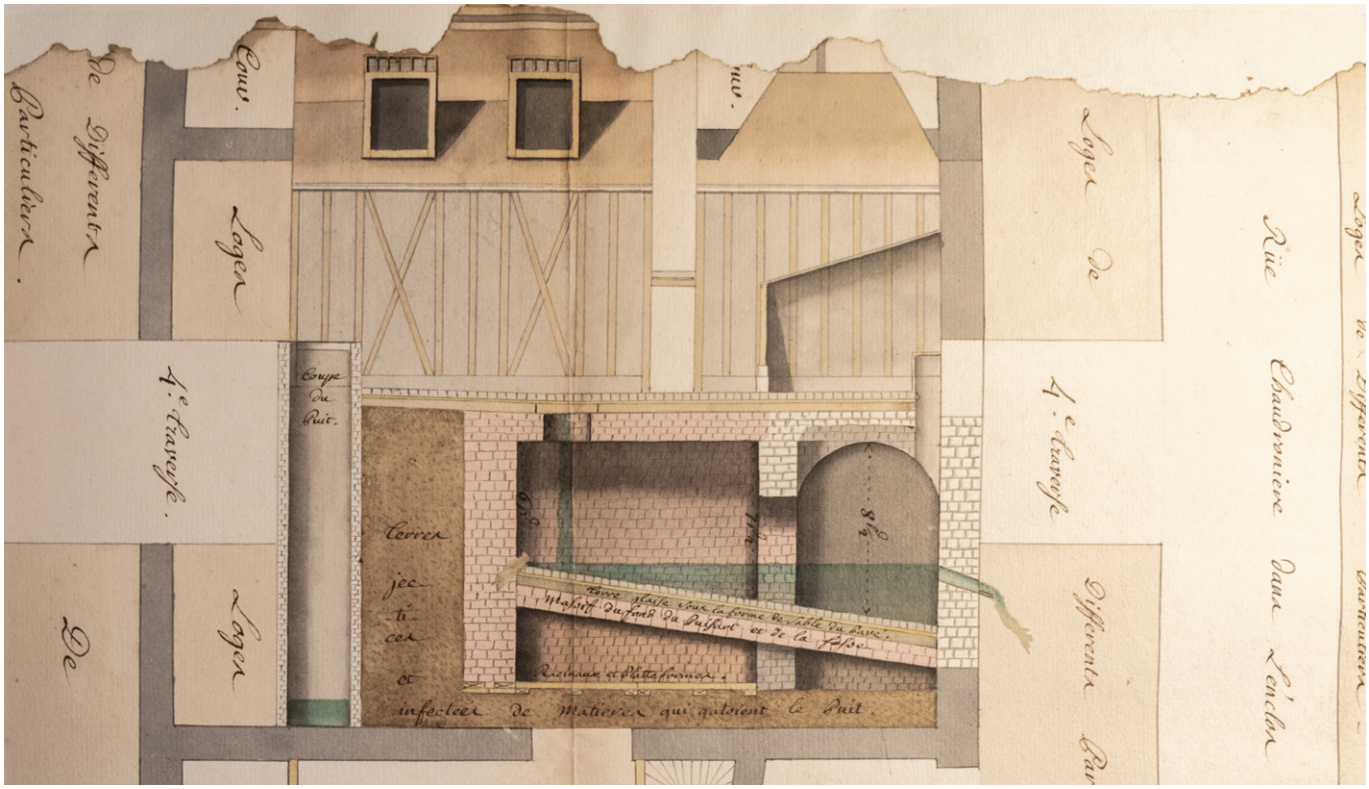


Fig. 75. **Plan du puisard de la Foire, extrait.**

élévations du projet dans la cour y sont rabattues) les détails architecturaux des nouveaux lieux d'aisance. La nécessité de ce projet est explicitée par la mention « Terres jectisses et infectées de matières qui gâtaient le puits » inscrite sur la coupe. La terre jectisse désignant les déblais remués lors de la construction ; la suite de la phrase montre que la proximité des latrines avec le puits avait petit à petit rendu l'eau du puits impropre à la consommation. Le projet vise donc à imperméabiliser la fosse des toilettes mais son intérêt pour nous réside surtout dans les élévations qui montrent la structure des constructions foraines. Daté sur son verso de 1764, ce plan montre donc la structure de la Foire après son incendie, et l'on y distingue une structure en pans de bois hourdis[36] installée sur un soubassement rigide, un système constructif souvent désigné comme « à colombages ». Au-dessus de cette structure, un toit en pente percé de lucarnes permet l'éclairage des bâtiments. C'est un contrat de location, plus précisément ce que nous nommerions aujourd'hui un « état des lieux », entre Nicolet et Yon daté de 1778 et conservé à la Bibliothèque Historique de la Ville de Paris (CP4851 Fol. 19-20) qui permet d'éclairer les détails de structure évoqués sur ce plan. Le contrat est le suivant :

> État d'une petite salle sise à la Foire Saint-Germain au coin de la rue Chaudronnière, première traverse, faisant face à la buvette de ladite foire, contenant aux environs de cinquante et un pieds de long sur près de treize et demi de large portant environ vingt-et-un à vingt-deux de hauteur.
> Louée à Monsieur Yon par mondit sieur Nicolet, bourgeois de Paris.
> Premièrement
> Ladite salle enclos d'un petit mur d'environ quatre pieds et demi de haut sur lequel est une charpente de bois de chêne élevée de quinze à seize pieds de hauteur qui soutient le comble, ladite loge couverte en tuile de Bourgogne, bonne et valable.

36 Le hourdissage consiste au remplissage d'une structure porteuse par des éléments destinés à former une cloison ou une dalle. Dans le cas présent, entre la structure de bois sont installés des éléments non identifiés (torchis, briques, tout-venant, etc.) destinés à fermer la cloison. Ce sont les pans de bois qui reprennent les efforts de la structure.

2° Ladite salle est enclose de bois de sapin de bateau , ayant deux portes du côté de la rue de la Chaudronnerie.
3° Planchelliée d'un bout à l'autre de bois de bateau sur des chevrons de même bois, posée à plat joint. Le bois énoncé ci-dessus, bon ainsi que les chevrons tout [*sic*] de bonne qualité, que ledit Sieur Yon promet et s'oblige de remettre dans le même état ci-dessus énoncé.
En foi de quoi nous avons signé la présente pour valoir à seule fin que de raison.
À Paris, ce 18 Mars 1778,
Nicolet, Yon

La structure des loges foraines semble donc être constituée d'un mur de soubassement d'environ 1,35 m de hauteur sur lequel sont posés les pans de bois de chêne. Le plancher de l'étage intérieur (la structure en pans de bois ayant une hauteur de 4,5 m posée sur le soubassement, cela offre suffisamment de hauteur interne pour offrir un étage) est composé de « bois de bateau » qui désigne à l'époque une qualité de bois de seconde main, précédemment utilisé dans la marine[37]. L'ensemble est couvert de tuiles de Bourgogne, des tuiles rectangulaires et plates de teinte rouge-orange. Le point deux, précisant que la salle est « enclose de bois de sapin de bateau », laisse imaginer un bardage de bois plutôt qu'un ourdissage comme le montre le plan d'aménagement de la cour ce qui montre l'existence de plusieurs modes constructifs au sein de la Foire. En plus d'éclairer le mode constructif des loges foraines, ce précieux document permet également de faire le lien avec les deux plans de positionnement des propriétaires forains. L'emplacement de la loge de Nicolet est en effet positionné à l'intersection de la rue de la Chaudronnerie et de la première traverse, et le nom de Nicolet apparaît bien à l'intersection de ces deux voies internes dans les plans. Curieusement Nicolet possède les loges faisant l'angle nord-est dans le plan CP4851 fol. 16 et les loges faisant l'angle sud-ouest dans le plan CP4851 fol. 19… preuve probablement de la mouvance des propriétés au sein de la Foire, à moins qu'il ne s'agisse d'une erreur lors de la réalisation d'un de ces plans.

Ce tour d'horizon des représentations de la Foire dans les plans d'architecte ou dans les documents comptables éclaire notre compréhension de l'organisation interne des bâtiments ou de leurs abords immédiats, à une échelle que ne permettent pas les plans de la ville de Paris. Grâce à eux, il est possible de comprendre la division interne de l'espace forain en « loges ». Ces loges s'échangent, se louent, se regroupent, comme le montrent les plans – le théâtre de Restier regroupe en effet de nombreuses loges du nord-est – et l'état des lieux de location ci-dessus. Le syndic, dont le bureau marque l'entrée de la Foire depuis au moins les années 1730, est donc en charge de la gestion de cette organisation interne. Tous ces plans permettent également de nommer de manière très précise les circulations internes de la Foire : six rues de direction est-ouest traversent les deux halles. Du nord au sud elles se nomment « Rue de Normandie », « Rue de Paris », « Rue de Picardie », « Rue de la Chaudronnerie », « Rue Mercière » et « Rue de la Lingerie » marquant une distinction nette entre la halle nord arborant des noms de localités, et la halle sud avec des noms liés à des activités artisanales. Perpendiculairement, cinq autres rues de direction nord-sud traversent la Foire, mais ne sont nommées que par des numéros de l'est vers l'ouest (du centre de Paris vers l'extérieur) : « Première Traverse », « Deuxième Traverse », etc. Ensemble, elles délimitent vingt îlots principaux, entourés de loges qui s'appuient sur les murs des halles, pour un total d'un peu plus de deux cents loges. À eux seuls, ces documents permettent difficilement de juger de la morphologie des élévations à l'intérieur de la Foire, que ce soit avant ou après l'incendie.

37 Roubo 1782, p. 1 : « Les layetiers emploient aussi du sapin épais, appelé communément bois de bateau, parce que ce sont des planches qu'on retire des bateaux qu'on détruit. »

Les bâtiments vus par les artistes : 1698-1789

Les représentations d'artistes sont à même de pouvoir renseigner avec précision l'aspect ou l'ambiance de la Foire Saint-Germain, pour peu cependant que l'on prenne les précautions nécessaires à leur interprétation[38]. Alors même que la Foire est restée longtemps un haut lieu de divertissements et de commerce dans la capitale, les représentations en sont relativement peu nombreuses, et d'autant plus si l'on exclut les représentations de l'incendie de la Foire. Parmi les représentations en lien avec la Foire Saint-Germain (parmi lesquelles de nombreuses représentations de spectacles forains), nous avons fait le choix de ne conserver dans le corpus d'étude ci-dessous que les images montrant les caractéristiques architecturales de la Foire. Ce sont donc dix-sept documents, dont neuf représentent l'incendie de 1762 ou les ruines qui en résultent que nous allons étudier.

Gp.	Date	Désignation	Auteur/Référence
1	1730	Le Théâtre de la Foire, frontispice de « Le Théâtre de la Foire ou l'Opéra Comique » de Le Sage et d'Orneval.	Bernard Picart Gallica ark:/12148/btv1b8408746z
	1741	La Foire Saint-Germain, frontispice du « Théâtre Italien de Gherardi »	*Auteur inconnu* Gallica ark:/12148/bpt6k1525603s
	1750	La Foire Saint-Germain, Comédie-Italienne, planche de « Habillements et scènes comiques du Théâtre Italien »	Le Roux Gallica ark:/12148/btv1b10529638v
	1762	La Foire Saint-Germain	Louis-Nicolas van Blarenberghe Wallace Collection
	1789	La Foire Saint-Germain, frontispice des « Œuvres complètes de Regnard ».	Clément-Pierre Marillier
2	1762	La Foire Saint-Germain pendant l'incendie (nuit du 16 au 17 mars 1762)	Pierre-Antoine Demachy Musée Carnavalet
	1762	Les ruines de la Foire Saint-Germain après l'incendie de 1762 (vue du nord-est)	Pierre-Antoine Demachy Musée Carnavalet
	1762	Les ruines de la Foire Saint-Germain après l'incendie de 1762 (vue du sud-est)	Pierre-Antoine Demachy Musée Carnavalet
	1762	La Foire Saint-Germain après l'incendie de la nuit du 16 au 17 mars 1762	Pierre-Antoine Demachy Musée Carnavalet
	~1762	Vue de la porte de la Treille de l'incendie de la Foire Saint-Germain à Paris, arrivé la nuit du 16 au 17 mars 1762	Jacques Chereau Éditeur Gallica ark:/12148/btv1b6949009g

38 Clarke 2017a a montré les difficultés d'interprétation des images de théâtre pour le XVIIe siècle, et particulièrement concernant l'interprétation architecturale de ces représentations.

Gp.	Date	Désignation	Auteur/Référence
2	~1762	Embrasement de la Foire Saint-Germain à Paris la nuit du 16 au 17 mars 1762[39]	*Auteur inconnu* Bibliothèque-Musée de l'Opéra
	1762	Maison du concierge de la Foire, incendiée la nuit du 16 au 17 mars 1762	Gabriel de Saint-Aubin Musée Carnavalet
	1762	Ruines de la Foire de Saint-germain du côté de l'Abbaye du même nom	Gabriel de Saint-Aubin Musée Carnavalet
	~1762	L'Incendie de la foire Saint-Germain de Paris	*Auteur inconnu* BHVP
3	<1683	Plan de la Foire Saint-Germain	Jollain Gallica ark:/12148/btv1b52507395v
	~1762	Vue de la nouvelle décoration de la Foire Saint-Germain	Le Bel Gallica ark:/12148/btv1b8410319g
	~1800	La Foire Saint-Germain au XVII^{e} siècle	Guillaumot Père, d'après Jollain

Table 4. Liste des représentations de la Foire étudiées.

Nous avons choisi d'aborder ce corpus de manière thématique en le scindant en trois groupes. Le premier groupe comprend les représentations de l'intérieur de la Foire, avec quatre frontispices (les gravures placées face aux titres d'ouvrages ou aux titres de pièces) et la miniature de Blarenberghe. Le second comprend toutes les représentations de l'incendie : quatre gouaches de Demachy, deux vues d'optique, deux croquis de Gabriel de Saint-Aubin et une gravure conservée à la BHVP. Le troisième groupe traite des vues fantasmées de la Foire : deux versions d'un « plan de la Foire-Saint-Germain », et une vue d'optique de la Foire après l'incendie.

Les frontispices et miniatures

Dans le premier groupe figurent trois frontispices d'une même pièce : « La Foire Saint-Germain » écrite par Charles Dufresny et Jean-François Regnard[40] et jouée à la Comédie-Italienne pour la première fois le 26 décembre 1695. La pièce se passe, comme son nom l'indique, à la Foire Saint-Germain et les graveurs ont donc choisi d'en représenter l'intérieur. La première gravure (*Fig. 76*), et probablement la plus ancienne, figure dans un recueil de gravures édité vers 1750 mais contenant des œuvres plus anciennes. On la doit à un certain « Le Roux ». La seconde (*Fig. 77*) est le frontispice de la pièce dans le recueil de Gherardi, non signée, ces deux premières ont choisi de représenter l'action de la Scène I de l'Acte I : Arlequin se laisse tenter par toutes les denrées précieuses qu'offre la Foire, les croyant bon marché sur un malentendu. La troisième gravure (*Fig. 78*), figurant dans l'édition de 1790[41] et de 1810 des œuvres complètes de Regnard[42], représente la Scène V de l'Acte I, lorsque Le Docteur, ayant perdu sa fille, reçoit l'aide de Pierrot qui a fait imprimer des affiches sur lesquelles est inscrit « Fille perdue, trente pistoles à gagner », qui figure en légende de ce frontispice. La gravure de Le Roux apporte le plus de détails sur l'intérieur de la Foire, puisque l'arrière plan montre de nombreuses loges de marchands avec une multitude d'objets et provisions. Dans cette représentation, un muret maçonné sépare la loge de la rue, suffisamment bas pour que son sommet, recouvert d'une planche, puisse servir de comptoir. Placé devant ce muret, une étoffe vient

39 Nous remercions Françoise Rubellin de nous avoir communiqué cette image non répertoriée des collections de la Bibliothèque-Musée de l'Opéra.

40 Gherardi 1741, p. 205.

41 Nous n'avons pas eu accès à cette édition, éditée chez Veuve Duchesne, dans laquelle figurerait pour la première fois cette gravure. Elle est indiquée par Utpictura18 [utpictura18.univ-amu.fr].

42 Regnard 1810.

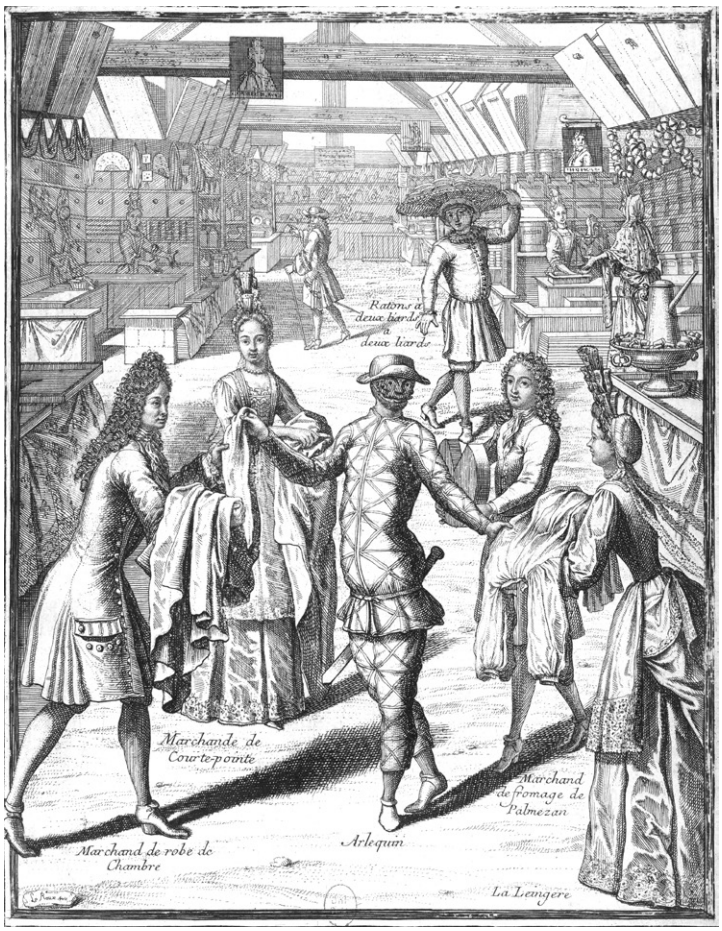


Fig. 76. (à gauche) La Foire Saint-Germain, comédie italienne, planche de « Habillements et scènes comiques du Théâtre Italien ».

Fig. 77. (à droite) La Foire Saint-Germain, frontispice du « *Théâtre Italien de Gherardi* ».

en cacher la surface et servir de décoration. Au cœur de la loge, un meuble derrière lequel s'installe le marchand lui permet d'y déposer des marchandises à vendre et d'y travailler. Les parois séparant les loges entre elles, qui s'étendent jusqu'au plafond, servent à y adosser des étagères de rangement, que l'on devine pleine de boîtes ou de tiroirs, selon ce que le marchand a à vendre. Au plafond pendent sur le pourtour de la loge des guirlandes faites d'éléments variables selon les marchands et au-dessus le graveur a représenté des planches obliques, retenues dans leur partie supérieure par une corde. Il est probable qu'en lâchant la corde ces planches venaient fermer le comptoir et donc clore complètement la loge : l'autre extrémité de ces cordes serait donc accessible depuis l'intérieur de la loge foraine. Au même niveau, des enseignes permettent de renseigner sur l'activité des marchands. Alors que le point de vue nous offre une vision dans l'axe d'une des rues principales de la Foire, on distingue clairement des rues perpendiculaires, délimitant des îlots de marchands. Dans la partie haute de l'image, les imposantes poutres qui recouvrent les halles foraines sont visibles, mais elles ne supportent ici pas de toit : habile subterfuge du graveur qui a ainsi pu représenter la scène en lumière naturelle, sans se soucier des problématiques d'éclairage artificiel qui devaient se poser dans un tel espace clos. Il est intéressant de constater que cette gravure représente avec une certaine justesse l'intérieur de la Foire : la proportion et la dimension des loges correspond en effet aux plans conservés (*Cf. supra*) même si le nombre de loges par îlot est inférieur à ce que représentent les plans.

Le frontispice présent dans le recueil de Gherardi (*Fig. 77*) reprend une composition similaire, mais avec un souci de simplification (probablement dû au format inférieur de la gravure) qui rend plus difficile l'interprétation. Les loges des marchands,

Fig. 78. (à gauche) La Foire Saint-Germain, frontispice des « Œuvres complètes de Regnard ».

Fig. 79. (à droite) Le Théâtre de la Foire, frontispice de « Le Théâtre de la Foire ou l'Opéra Comique » de Le Sage et d'Orneval.

avec les mêmes murets et comptoirs, et étagères sur les séparations, sont représentées avec des proportions différentes qui les font apparaître beaucoup plus petites. Sur ces étagères sont représentés des livres et de la vaisselle. Les planches fermantes ont disparu, et les loges semblent recouvertes d'un toit de tuiles. Deux lustres viennent éclairer la scène, sans qu'on sache néanmoins s'ils font partie de l'espace représenté, ou du cadre entourant la gravure et le titre de celle-ci. La scène ne représente plus d'îlots, mais simplement un cul-de-sac : seuls différents marchands sont représentés, et non leurs loges elles-mêmes.

Le troisième frontispice, issu des œuvres complètes de Regnard (*Fig. 78*), présente non seulement une composition différente (même si le point de vue est toujours situé dans une rue foraine, permettant de voir les nombreuses loges, il ne surplombe plus la scène et ne regarde plus dans l'axe), mais montre également une Foire à l'aspect bien différent. La rue est en effet couverte d'un plafond à caissons dont la hauteur par rapport à celles des loges voisines permet l'installation de fenêtres qui éclairent de lumière naturelle l'espace. L'aspect des loges elles-même est différent et moins brut : on y accède par une petite marche, et leur façade est délimitée par une séparation décorée de moulures tandis qu'au niveau des plafonds l'enseigne apparaît dans un médaillon au profil découpé de volutes. Les étagères contre les murs sont toujours pleines de choses à vendre : vaisselle sur la partie gauche de l'image, livres ou linge plié sur la droite. Le dallage du sol est clairement apparent sur cette gravure. Réalisée à la fin du XVIII[e] siècle, cette gravure représente alors une foire couverte qui n'existe plus en y imposant les modes architecturales classique de cette fin de siècle : corniches, colonnes, caissons ne font en effet pas partie du vocabulaire architectural des foires.

Fig. 80. Miniature «La Foire Saint-Germain» par Louis-Nicolas van Blarenberghe.

Le dernier frontispice est celui du *Théâtre de la Foire* de Le Sage et D'Orneval[43] (*Fig. 79*) qui représente diverses allégories à la Foire. Notons dès à présent qu'il n'est jamais spécifié qu'il s'agisse de la Foire Saint-Germain et qu'il est possible que la représentation montre la Foire Saint-Laurent, autre grande foire parisienne. S'il s'agissait bien de la Foire Saint-Germain, l'arrière plan montrant un bâtiment bardé de bois sur le devant duquel un balcon sert de scène à une parade[44] et placé sur une cour pavée pourrait évoquer les loges construites dans le préau de la Foire. Pauvre d'enseignement sur la morphologie des bâtiments, cette gravure est en revanche riche concernant les différents spectacles qui se pratiquaient à la Foire et sur lesquels nous reviendrons.

La dernière image de ce groupe est exceptionnelle à plus d'un titre. Il s'agit d'une miniature ovale de 8 cm de large par 6 cm de haut, peinte sur vélin par Louis-Nicolas van Blarenberghe en 1763 et conservée aujourd'hui à la Wallace Collection de Londres[45] (*Fig. 80*). La dynastie des Van Blarenberghe est connue pour la très grande précision, tant technique que visuelle, de ses miniatures : sur la surface réduite de l'ovale, c'est toute une foule qui est représentée avec de nombreux détails tandis que l'exactitude de leurs représentations a été souvent louée[46]. L'image permet ainsi de planter tant l'architecture que l'ambiance de l'intérieur de la Foire avant son incen-

43 Le Sage et D'Orneval 1721.

44 La « parade » est une courte prestation d'adresse, de danse ou de théâtre donnée devant la salle et dont l'objectif était de pousser les spectateurs à venir assister au spectacle lui-même à l'intérieur du théâtre.

45 Duffy et Vogtherr 2013.

46 On pourra se référer notamment à Méjanès *et al.* 2006, *Les Van Blarenberghe, des reporters du XVIII^e siècle* ou au *Catalogue Raisonné des œuvres des Van Blarenberghe : 1680-1826* de Maillet 2004.

die. En effet, si la date indiquée sur la miniature elle-même est 1763, il ne fait aucun doute que la scène représente le bâtiment avec sa charpente, les poutres et le plafond étant visibles dans la partie haute de l'image. Or, on l'a vu, la charpente ne fut pas reconstruite après l'incendie et cette peinture représente donc le souvenir de l'état du bâtiment.

La miniature a fait l'objet d'une description précise par Nathalie Lemoine-Bouchard[47] qui propose de positionner le point de vue adopté par l'artiste sur un plan de la Foire. Nous ne reprendrons pas tous les éléments de cette description mais décrirons les éléments qui éclairent notre compréhension de l'intérieur des halles et nos divergences avec ses hypothèses. La scène représentée se passe au sein d'une structure dont on ne perçoit que les limites inférieures et supérieures : le sol composé semble-t-il de pavés et un plafond dont on perçoit une poutre maîtresse et les solives formant un plancher. La représentation de ce plafond est d'ores et déjà problématique parce qu'elle implique[48] la présence d'un étage supérieur couvrant l'ensemble de la structure, ce qu'aucun des plans de la Foire ne laisse envisager. Face au spectateur apparaît une façade bleue présentant un fronton soutenu par six pilastres encastrés à chapiteau corinthien, au-dessus duquel un balcon fermé d'une rambarde de bois, sur lequel débouchent deux portes, permet une parade. Il s'agit en effet de l'entrée d'une salle de spectacle, puisque l'inscription au-dessus de la porte indique « Nicolet », entrepreneur de spectacles à la Foire Saint-Germain. À gauche de l'entrée de cette salle de spectacle, une petite cahute adossée à la façade de théâtre permet vraisemblablement la vente des places. À droite, une grande surface vitrée servant d'entrée à une autre loge foraine est surmontée d'une pancarte disposée sur une paroi de bois dont on distingue les assemblages maladroits qui délimitent un étage supérieur. Dans le tiers gauche de l'image, un pilier soutient l'étage d'une loge qui vend des tableaux et qui semble s'installer au-dessus d'une des rues de la foire, bordée à gauche d'un marchand et de deux autres loges que l'on distingue à peine. Dans le tiers droit de l'image, un escalier en colimaçon épouse la courbure du support de la miniature et permet d'accéder à un guichet annoncé auprès duquel est placée une grande affiche du « Grand Escamoteur Chinois », juste à côté d'une enseigne pour « Les Marionnettes Sans Pareilles du Sieur Bienfait ». Entre cet escalier et la façade de la seconde loge foraine, on perçoit une des rues de la Foire qui s'étend au loin, bordée à droite par au moins cinq loges marchandes et surmontée par une ferme de charpente clairement visible. L'ensemble est éclairé par quatre lustres qui pendent du plafond (deux au centre de la composition, et deux autres au rez-de-chaussée à gauche) et de nombreuses appliques, lampes, chandeliers disposés dans la peinture. L'ensemble est peuplé d'une foule dense et diverse où se côtoient visiblement de nombreuses classes sociales à en juger par les costumes de chacun, individualisés.

La précision et l'abondance de détail pourrait nous faire oublier qu'il s'agit d'une construction graphique si plusieurs jeux, plutôt qu'erreurs, de perspective ne venaient pas nous le rappeler.

Depuis le point de vue jusqu'à la façade du théâtre, il semble y avoir une dizaine de mètres dans cette représentation, alors même qu'aucune voie à l'intérieur des halles n'excédait cinq mètres. Observons le pilier soutenant l'étage à gauche : au niveau du sol il semble y avoir une distance très importante entre celui-ci et la façade du théâtre, tandis qu'à l'étage cette distance est considérablement réduite et Blarenberghe a habilement dissimulé cette incohérence derrière une pancarte de toile tendue à gauche de la parade de Nicolet. Nathalie Lemoine-Bouchard propose de situer cette scène dans la première traverse de la Foire, la rue visible à droite étant celle de Normandie et celle de gauche celle de Paris, sur la base d'archives de

47 Lemoine-Bouchard 2010

48 Tel que représenté le plafond apparaît en effet comme la sous-face d'un plancher et non comme un élément décoratif en stuc qui permettrait simplement de cacher la charpente aux yeux des visiteurs. Une autre justification de ce type de plafond serait d'améliorer le confort acoustique dans les halles, mais cela semble être une considération anachronique, et par ailleurs à notre connaissance pas attesté dans des halles du XVIII[e] siècle.

Fig. 81. La Foire Saint-Germain pendant l'incendie (nuit du 16 au 17 mars 1762).

1701 (donc soixante-deux ans avant la production de la miniature) où Alexandre Bertrand achète trois loges rue de Normandie[49], et de 1784 où les petits enfants d'Alexandre Bertrand vendent trois loges sises sous le théâtre de Nicolet[50]. Il nous semble que cette hypothèse se base sur de nombreuses suppositions non vérifiées : que les Bertrand aient conservé pendant 83 ans leurs loges, que Nicolet n'ait qu'un seul emplacement de spectacle et qu'il n'ait pas bougé entre 1762 et 1784. Or, sur les plans d'attribution des loges que nous avons consulté (*Cf. supra*) n'apparaissent à l'emplacement désigné ni Bertrand ni Nicolet et ce dernier possède de nombreuses loges dans l'ensemble de la Foire. Enfin, cette hypothèse nous semble également difficilement tenable d'un point de vue architectural : la largeur de l'îlot à cet endroit ne dépassait pas six mètres (la profondeur de deux loges), trop peu pour installer deux salles de spectacle côte à côte. Il est plus probable que Blarenberghe ait souhaité insister sur la proximité de ces théâtres dans la construction graphique de sa miniature, mais sans toutefois chercher un rendu photographique de la Foire dans un état disparu au moment de la réalisation de l'œuvre. Celle-ci n'en reste pas moins une description intéressante de l'atmosphère qui pouvait prévaloir dans cet espace.

Les représentations de l'incendie

Le second groupe de représentations traite spécifiquement des représentations de l'incendie de la Foire, qui eut lieu dans la nuit du 16 au 17 mars 1762. Parmi ces représentations, les quatre gouaches de Demachy offrent une vue particulièrement intéressante de l'événement et de la Foire elle-même. D'une part, une de ces

49 Archives Nationales A.N. S 2872. Nous n'avons pas consulté cette archive.

50 Communiquée par Barry Russel à Nathalie Lemoine Bouchard, nous n'avons pas connaissance de la référence de cette archive et ne l'avons donc pas consultée.

Fig. 82. Les ruines de la Foire Saint-Germain après l'incendie de 1762 (vue du sud-est).

Fig. 83. Les ruines de la Foire Saint-Germain après l'incendie de 1762 (vue du nord-est).

gouaches représente l'incendie en train de se produire (*Fig. 81*), avec les tentatives infructueuses pour l'éteindre, tandis que les trois autres représentent les ruines le matin du 17 mars. D'autre part, Demachy a adopté plusieurs points de vue, tant depuis le nord-est que le sud-est ou depuis le préau que depuis les ruines elles-mêmes. La représentation nocturne laisse voir une foire dont la charpente est déjà consumée et où seuls subsistent les murs périphériques léchés par de très hautes flammes dont la lumière vient éclairer la ville environnante. Les grands murs latéraux aveugles des halles sont surmontés par des lucarnes donnant dans le vide, tandis que l'on distingue le pignon nord-est de la Foire et son entrée, encadrée de deux contreforts. Au premier plan s'affairent de nombreux individus pour tenter d'éteindre l'incendie ou pour en observer le spectacle terrifiant : de l'eau semble déversée en grandes flaques dans le préau de la Foire, et l'eau est ensuite récupérée dans des seaux pour être

Fig. 84. Les ruines de la Foire Saint-Germain après l'incendie de 1762 (vue du nord-est).

déversée sur les flammes grâce à une chaine humaine s'étendant depuis le centre du préau jusqu'au sommet des murs de la Foire grâce à une échelle. Immédiatement à gauche de la charrette déversant de l'eau, on devine une pompe actionnées manuellement, qui permet d'acheminer l'eau dans un tuyau que tient un homme perché sur les ruines. Le feu semble avoir gagné la tour de l'entrée de la Foire Saint-Germain abritant le syndic de copropriété.

Les trois autres gouaches de Demachy peuvent être interprétées dans un ordre chronologique que renseigne la position du soleil et des ombres sur ces vues. En milieu de journée (*Fig. 82*), le peintre nous offre une vue depuis le sud-est de la Foire, directement dans les ruines, à l'extrémité est de la rue de la Lingerie. On distingue au loin les flèches de l'Abbaye Saint-Germain-des-Prés qui permettent de repérer l'orientation de l'image. Au premier plan, un ensemble chaotique de matériaux issus de la destruction de la charpente renseigne peu sur l'architecture de ces halles, mais le second plan est beaucoup plus loquace. L'extrémité nord-ouest des halles n'a pas été entièrement consumée par les flammes, de telle sorte que l'on peut visualiser la structure en bois de cette charpente, les tuiles rouges, la présence des lucarnes (dans une configuration conforme à celle du plan de Turgot), mais aussi la matérialité des murs partiellement effondrés, en grand appareil pour la majorité des murs conservés ou en bois hourdis de briques enduites pour un mur au premier plan. On peut distinguer les limites des cours qui semblent former un dédale de murs éboulés au centre de la composition. La scène montre plusieurs personnes s'affairant à retrouver objets ou survivants, qui permettent de donner l'échelle de ce bâtiment. Dans le tiers inférieur gauche, une sculpture énigmatique, toujours en place malgré la désolation environnante, représente un ange soutenant une femme dénudée. Faut-il y voir une métaphore de la situation de la Foire à cet instant, ou bien s'agissait-il d'un monument forain aujourd'hui méconnu ?

Fig. 85. (à gauche) Maison du concierge de la Foire, incendiée la nuit du 16 au 17 mars 1762.

Fig. 86. (à droite) Ruines de la Foire de Saint-germain du côté de l'Abbaye du même nom.

Au milieu de l'après-midi (*Fig. 83*), le point de vue se déplace dans l'angle nord-est des anciennes halles, à l'extrémité est de la rue de Normandie. À l'arrière plan, le portail nord de Saint-Sulpice est visible, tandis que les deux tours de la façade de l'église sont parfaitement identifiables. Ce point de vue offre une vue axiale dans la nef nord de la Foire, permettant de visualiser avec précision la structure de la charpente. Au premier plan, quelques séparations ou comptoirs de loges sont encore visibles au milieu des décombres et tout à droite on perçoit la tour d'entrée de la Foire dont une partie s'est effondrée. Une flaque au centre rappelle les tentatives pour éteindre l'incendie ; les activités ont changé pour les personnages représentés : il s'agit maintenant de visites de curiosité comme en témoigne la présence de femmes et d'enfants en toilettes soignées. Sur cette image, certains blocs de pierre paraissent disproportionnés et suggèrent des éléments de maçonnerie en très grand appareil, ce qui à notre connaissance n'était pas d'usage dans les constructions civiles du Moyen-Âge et vient jeter le discrédit sur cette représentation. En fin d'après-midi (*Fig. 84*), la lumière jaune du soleil couchant éclaire les ruines et le point de vue s'est rapproché au niveau du croisement entre la troisième traverse et la rue de Normandie. Saint-Sulpice apparaissant en arrière-plan est la seule partie de l'image éclairée mais les ruines plongées dans le noir laissent apparaître quelques détails. Tout à gauche, flacons, tonneaux et paniers rappellent les activités commerciales de la Foire tandis qu'à droite la tour éventrée laisse apparaître sa structure composée de pans de bois hourdis au torchis. Des visiteurs viennent constater les dégâts, amenés par des guides improvisés.

En plus de ces quatre gouaches, le musée Carnavalet conserve également deux croquis de Gabriel de Saint-Aubin qui représentent les ruines de la Foire le 17 mars. Le premier est intitulé « Maison du concierge de la Foire, incendiée la nuit du 16 au 17 mars 1762 » (*Fig. 85*). Ce croquis présente en détail la tour d'entrée de la Foire, qui comprenait donc le syndic et qui est ici nommée « maison du concierge » : comprenant deux étages et des combles avec lucarnes, elle culmine au-dessus d'une haute entrée rectangulaire. Des débris sont tombés au-dessus des échoppes accolées aux murs de la Foire et quelques éléments de charpente sont visibles. Le second croquis,

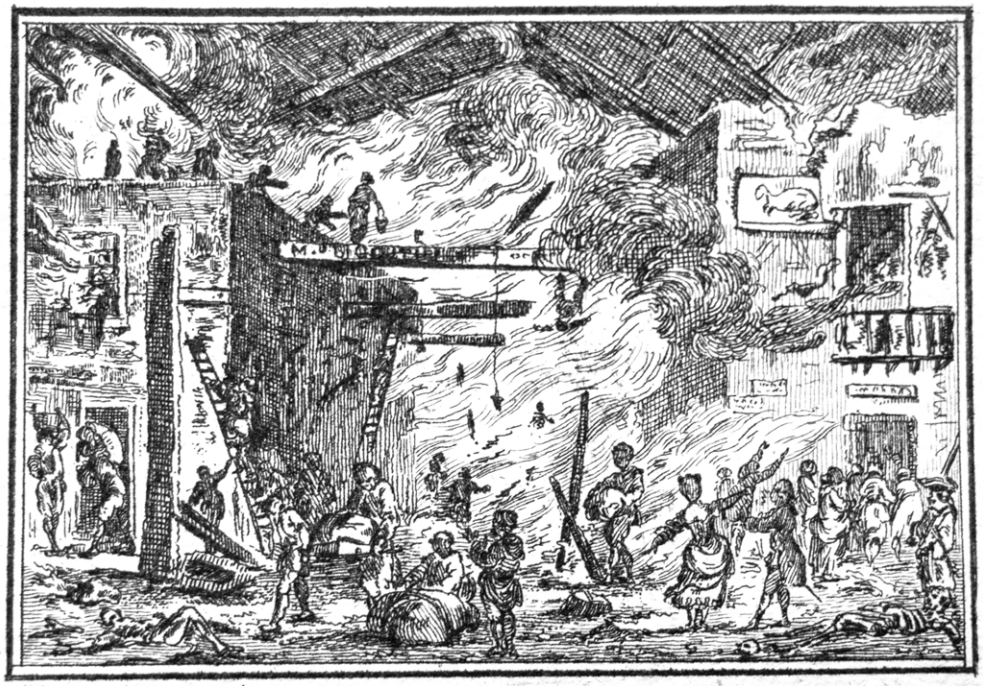


Fig. 87. L'Incendie de la Foire Saint-Germain de Paris.

« Ruines de la Foire de Saint-Germain du côté de l'Abbaye du même nom » (*Fig. 86*) présente les ruines depuis l'intérieur des anciennes halles, en regardant vers le nord puisque l'on reconnaît dans le fond les flèches de l'abbaye. Ce croquis met en scène des visiteurs qui donnent une échelle beaucoup plus réduite aux murs que dans les gouaches de Demachy : les lucarnes y paraissent beaucoup moins imposantes, et par certains aspects plus réalistes que dans la représentation quasi-monumentale du peintre. Malgré cette différence d'échelle, les représentations des deux artistes concordent dans les détails architecturaux qui sont présentés.

La Bibliothèque Historique de la Ville de Paris possède également une petite gravure montrant l'incendie depuis l'intérieur même des halles intitulée « L'Incendie de la Foire Saint-Germain de Paris » (*Fig. 87*). Le point de vue est placé dans l'axe d'une des deux halles, au milieu des rues principales et offre une vue sur les façades des loges donnant sur une rue de traverse. Les flammes lèchent les façades de ces loges et ont déjà envahi la rue centrale, elles prennent également sur la charpente de la foire dont on devine les deux pans dans la partie haute. Les entraits des fermes[51] de la charpente sont représentés par ces grosses poutres au-dessus de la rue (l'une d'entre elles semble contenir la signature du graveur : « M. […]COUTU[…] », sans toutefois que le reste des éléments de la charpente ne soit visible. Partout, femmes et hommes s'activent à tenter d'éteindre l'incendie, on les voit tenir des seaux et se placer dans des situations particulièrement dangereuses pour lancer de l'eau sur les flammes en utilisant des échelles. Des corps calcinés, presque squelettiques, sont même représentés au premier plan, alors même que l'incendie semble venir vers le spectateur. La représentation des loges foraines dans cette gravure est tout à fait différente de celle présentée dans les frontispices. Ici, les loges ressemblent d'avantages à de petits bâtiments possédant des murs fermés, une porte et un balcon à l'étage. Une représentation qui n'est pas sans rappeler la miniature de Blarenberghe et l'entrée du théâtre de Nicolet. L'étage semble noyer les entraits de la charpente, ce qui laisse penser que le développement vertical des loges foraines avec un étage n'est qu'une évolution tardive qui ne faisait pas partie des plans de construction originaux remontant au Moyen-Âge. Quelques lignes sur le bâtiment de droite laissent penser

51 La ferme désigne en architecture un élément de charpente de forme triangulaire supportant les pannes du toit. La ferme est composée *a minima* d'un entrait, d'un poinçon vertical et de deux arbélétriers obliques.

Fig. 88. Vue de la porte de la Treille de l'incendie de la Foire Saint-Germain à Paris, arrivé la nuit du 16 au 17 mars 1762.

que la structure est celle de pans de bois hourdis, tandis qu'on distingue plusieurs pancartes et enseignes.

Dernier ensemble dans le groupe des représentations de l'incendie, les « vues d'optique ». Ce sont des gravures produites entre le premier quart du XVIII^e^ siècle et la première moitié du XIX^e^ siècle qui sont observées à partir d'une lentille permettant de donner une impression de profondeur à l'image[52]. Lors de l'observation dans la lentille, la partie droite de l'image apparaît à gauche et inversement, de telle sorte que sur les vues d'optique figure un titre écrit « à l'envers » au-dessus de l'image pour être lu avec la lentille. Une description plus complète apparaît à l'endroit en dessous de l'image, pour être lue sans le dispositif, un zograscope[53] ou une boîte d'optique. L'observation de la vue d'optique « vue de la porte de la Treille de l'incendie de la Foire Saint-Germain à Paris, arrivé la nuit du 16 au 17 mars 1762 » (*Fig. 88*) nous laisse dubitatif sur l'efficacité du système, tant le dessin et la perspective paraissent grossiers et déformés. La scène présente la Foire en flammes, vue depuis le nord-ouest du préau. Au premier plan, des « charrettes qui voiturent de l'eau » (d'après la légende) viennent remplir une flaque dans le préau dans laquelle sont remplis des seaux. Ceux-ci ne sont pas déversés sur les flammes mais viennent alimenter des pompes qui projettent l'eau dans les flammes, la légende précise que ces pompes proviennent d'un petit local à droite (à gauche sur l'image) de la porte principale. La foire est représentée prise par les flammes mais l'extrémité ouest de la halle nord est épargnée, un point commun à l'ensemble des représentations de l'événement. Entre

52 Aressy *et al.* 2014, p. 16.
53 Aressy *et al.* 2014, p. 13.

Fig. 89. **Embrasement de la Foire Saint-Germain à Paris la nuit du 16 au 17 mars 1762.**

les contreforts de la façade, les échoppes sont représentées, au-dessus desquelles se tiennent les grandes lucarnes. On perçoit à droite, au travers des portes des halles, les alignements de loges, tandis que deux des portes de la halle nord sont condamnées (celle de la rue de Normandie et de la rue de Picardie). Cette vue d'optique est précieuse parce qu'elle nomme spécifiquement les entrées de la Foire et l'on apprend que la porte donnant de la rue de Paris au préau est désignée « Porte du Grand Jeu ». Un jeu étant une salle de spectacle, on est en droit d'imaginer que se tenait proche de cet accès une grande salle de spectacle[54].

Une deuxième représentation, à notre connaissance inédite, nommée « Embrasement de la Foire Saint-Germain à Paris la nuit du 16 au 17 mars 1762 » (*Fig. 89*) est conservée dans les archives de la Bibliothèque Musée de l'Opéra. Le point de vue est placé à l'est du préau, depuis la rue de Tournon, et laisse voir toute la profondeur du préau vers l'ouest. Au premier plan, une armée de seaux viennent alimenter trois pompes. Dans le prolongement du préau, transformé en immense flaque, est déversé de l'eau pour alimenter les pompes. Au centre de l'image, la Foire est entièrement prise par les flammes, tout au plus voit-on la tour de la porte résister. La représentation de la Foire est surprenante : ce ne sont plus deux, mais trois halles qui sont dessinées de manière tout à fait irrégulière. Une épaisse fumée grise vient envelopper la scène. Cette image n'offre aucune précision architecturale qui puisse renseigner sur la morphologie de la Foire ; elle reprend au contraire des erreurs que l'on a vu apparaître dans les plans de Paris (les trois halles au lieu de deux) en simplifiant leur représentation au maximum… une telle image, dont la facture semble montrer une certaine précipitation, est peut-être à mettre en lien avec le désir de produire des images d'un événement marquant le plus rapidement possible.

La Foire fantasmée

Le troisième groupe comprend les vues fantasmées de la Foire, à commencer par deux « plans » de la Foire, qui sont en fait des vues en perspective à vol d'oiseau. La première vue a été éditée à la fin du XVII[e] siècle (Jollain, le graveur qui l'a signée, est

54 S'agissait-il déjà de la salle de Restier, qui est indiquée sur les plans datant de la reconstruction de la Foire après l'incendie ? Elle prenait place au nord est de la Foire et venait condamner l'accès à la porte dans l'axe de la rue de Normandie.

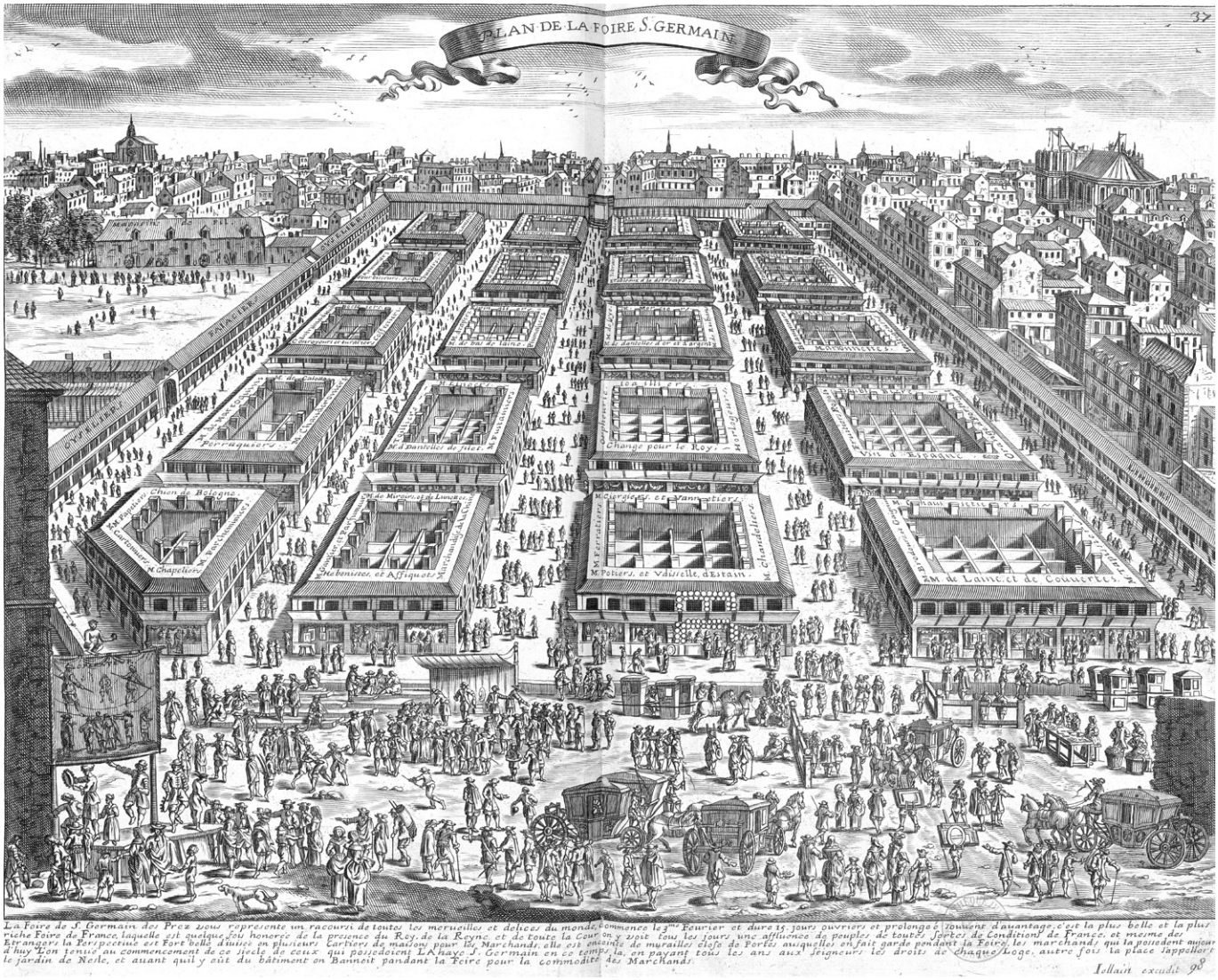


Fig. 90. **Plan de la Foire Saint-Germain.**

mort en 1683) (*Fig. 90*), puis copiée et coloriée plusieurs fois. La deuxième vue est une interprétation de ce premier document produite au XIXe siècle. Notons d'abord que les deux images prennent un point de vue élevé depuis l'est de la Foire en regardant vers l'ouest, mais le graveur a représenté l'ensemble à l'envers, si bien qu'il convient d'inverser droite et gauche dans ce dessin : le préau est en effet représenté à gauche alors qu'il devrait l'être à droite. Ici, pas de halles ni de charpente, la Foire est représentée comme un ensemble de vingt îlots indépendants dans un espace délimité par des loges qui l'entourent. De même, la tour de l'entrée principale nord de la Foire n'est pas représentée, mais en lieu et place un bâtiment tout en longueur, sorte d'avant-corps à l'accès, porte l'indication « Conciergerie ». Dans cette représentation, tout se passe donc comme si le graveur avait souhaité donner corps à un plan schématique de la Foire (sur lequel on aurait pu rabattre les élévations) en représentant des bâtiments vaguement inspirés de la Foire Saint-Germain. Au premier plan, une foule est représentée venant à la foire, elle arrive à pied, en chaise à porteurs ou en fiacre. Certains se regroupent autour d'un des deux spectacles extérieurs représentés. La population est très diverse : hommes, femmes et enfants sont habillés de costumes renvoyant à diverses classes sociales. Quelques scènes viennent apporter de la vie à cette représentation : là on se bat, ailleurs des porteurs apportent des tableaux à vendre, ailleurs on se salue en faisant une révérence… Les loges foraines sont regroupées en îlots formés d'une cour centrale dont le pourtour est recouvert d'un toit. Les loges elles-même sont ouvertes, un simple muret servant de comptoir

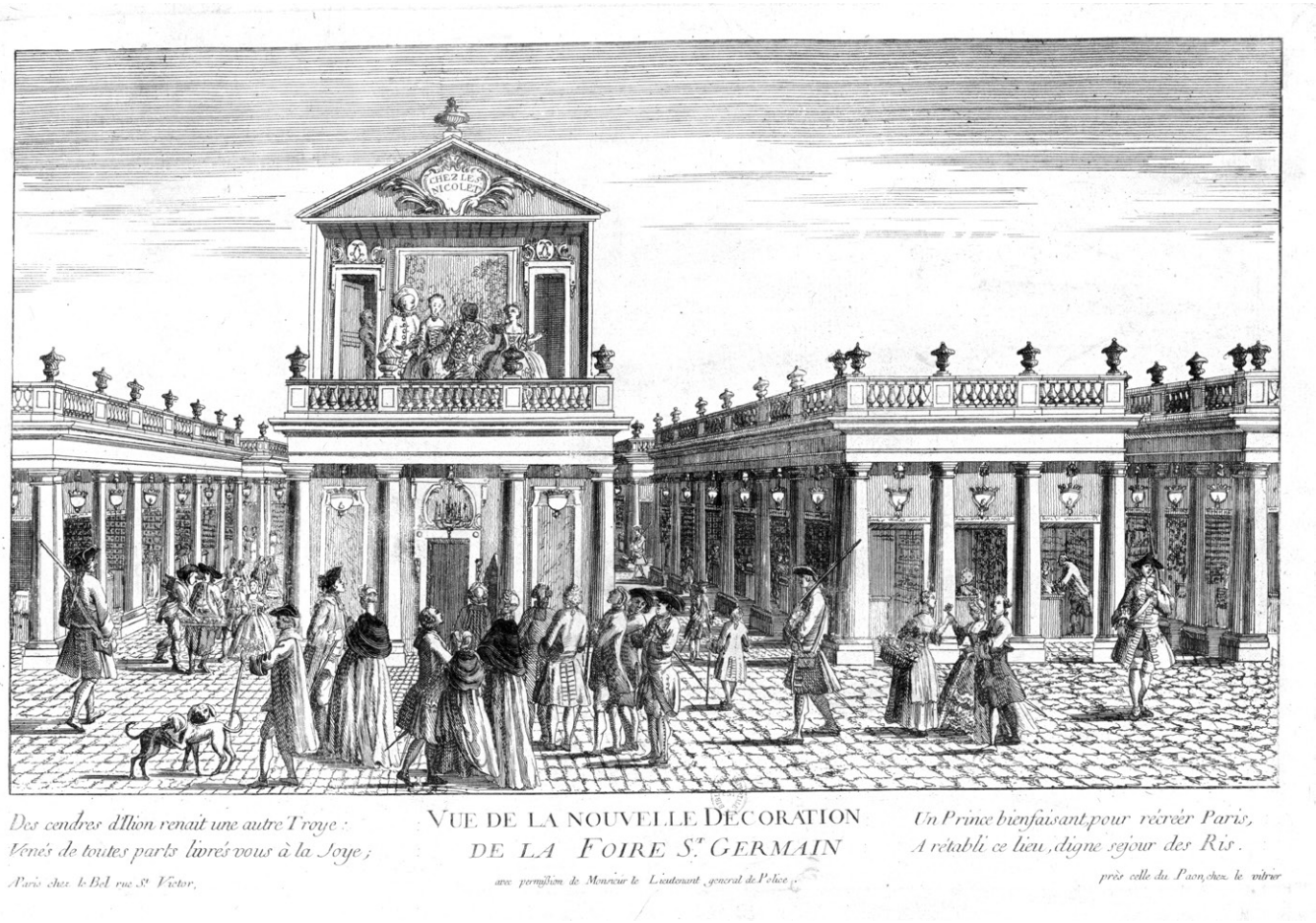


Fig. 91. Vue de la nouvelle décoration de la Foire Saint-Germain.

les sépare de l'espace public, tandis que des panneaux abattants permettent de les fermer complètement. La similarité de cette représentation avec celle du frontispice « La Foire Saint-Germain, comédie italienne » est frappante, même si ici est représenté au-dessus de chaque loge un étage. Sur le toit de chacun de ces îlots, le graveur a inscrit les marchandises que l'on pouvait y trouver : « Marchands potiers et vaisselle d'étain » lit-on par exemple au premier plan. Si un regroupement thématique semble être la norme, on est parfois surpris des regroupements effectués comme lorsque les chaudronniers côtoient les perruquiers. Notons dès à présent qu'un îlot contient les « Marionnettes » et « Voltigeurs »… mais malgré les aménagements spécifiques que devaient nécessiter de tels spectacles, la représentation des loges est strictement identique. À droite, une longue enfilade de loges, marquant la limite sud de la Foire, porte l'indication « Lingiers »[55], c'est la seule indication qui semble correspondre à un nom de rue de la Foire, puisque la rue de la Lingerie longeait effectivement le mur sud. En haut à gauche du dessin le « magasin de fil » est donc l'ancien nom des « Halles à la filasse » qui apparaissent dès le XVII^e siècle dans le préau de la Foire. Il est intéressant de constater que cette représentation, qui pourtant ne correspond en rien à la réalité physique de la Foire au XVII^e et au XVIII^e siècle, a eu un succès au point d'être souvent copiée jusqu'au XIX^e siècle. Peut-être la représentation symbolique sans le toit a-t-elle permis à cette gravure de rester fidèle à la réalité de la Foire après l'incendie ? Dans tous les cas, il s'agit à l'évidence d'un document dont l'objectif est de vanter la diversité des marchandises et des activités offertes par la Foire.

Le dernier document est une vue d'optique intitulée « Vue de la nouvelle décoration de la Foire Saint-Germain » (*Fig. 91*). Il s'agit d'une représentation de la Foire

55 Le *Trésor de la Langue Française Informatisé* donne pour « Lingier » la définition suivante : « Personne (le plus souvent une femme) chargée de la confection ou de la vente du linge ».

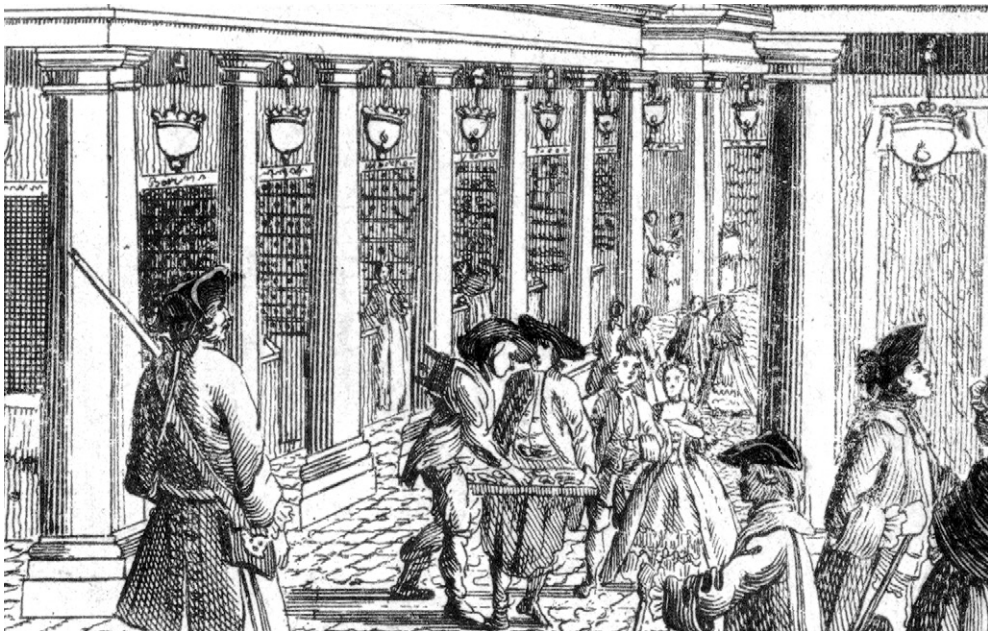


Fig. 92. Détail des colonnes dans la partie gauche de la « Vue de la nouvelle décoration de la Foire Saint-Germain », montrant leur aspect plat.

après son incendie de 1762. Des pavillons identiques, périmètres, de style toscan abritent les loges qui s'installent entre deux colonnes, éclairées la nuit par une lampe suspendue au linteau. Chaque pavillon est surmonté d'une corniche et d'une balustrade soutenant elle-même des vases d'ornement. Légèrement à gauche du centre de l'image, un pavillon est doté d'un étage avec un toit à deux pans dessinant un fronton qui contraste par sa sobriété avec le style recherché du rez-de-chaussée. Au milieu du fronton on lit la mention « Chez le Sieur Nicolet », indiquant qu'il s'agit d'un théâtre forain. Deux portes permettent d'accéder à un balcon derrière la balustrade sur laquelle a lieu une parade. Dans la rue, les hommes et femmes en costumes montrent une population nettement moins diversifiée que la miniature de Blarenberghe. La légende indique :

> Des cendres d'Ilion renaît une autre Troie.
> Venez de toutes parts, livrez-vous à la joie.
> Un prince bienfaisant, pour recréer Paris,
> A rétabli ce lieu, digne séjour des ris.

Nous voyons dans ce « prince bienfaisant » René Duchesne, qui aurait activement participé à la reconstruction de la Foire qui put réouvrir dès février 1763. Dans une note du poème *L'incendie de la foire Saint-Germain et sa nouvelle reconstruction*[56], il est désigné comme l'architecte qui conçut la décoration en 1762 de la Foire Saint-Ovide, et cette indication est très intéressante pour comprendre comment en moins d'un an la Foire Saint-Germain put être reconstruite. En effet, la Foire Saint-Ovide se tenait à cette période sur la place « Louis-le-Grand », actuelle place Vendôme, de manière épisodique : il s'agissait donc de bâtiments et d'éléments de décors démontables. En regardant de plus près la vue d'optique de la nouvelle Foire et particulièrement la base des colonnes, il semble que l'architecture soit en réalité composée d'éléments en deux dimensions, tel un décor de théâtre. Cette caractéristique est particulièrement visible aux angles des bâtiments (notamment tout à gauche de l'image), où le graveur a représenté deux colonnes découpées dans un support et se coupant à angle droit : l'illusion est suffisamment bonne pour ne pas être remarquée au premier regard. Faut-il y voir une maladresse ou une méconnaissance de la

56 Nous renvoyons de nouveau au poème anonyme conservé à la Bibliothèque Nationale de France (Gallica : ark:/12148/bpt6k5510932j).

perspective ? Il est vrai que les vues d'optiques précédentes montrent une maîtrise des règles de la perspective balbutiante, mais la facture de cette représentation nous semble suffisamment meilleure pour penser qu'il s'agit d'une représentation délibérée. Un décor aurait pu permettre une réouverture de la Foire dès 1763. Dès lors, la représentation de cette vue d'optique est-elle une vue de l'esprit ou la Foire telle qu'elle a existé juste après l'incendie ? La lecture de morceaux choisis du poème *L'incendie de la foire Saint-Germain et sa nouvelle reconstruction* semble pouvoir répondre à cette question.

Venez en foule examiner les charmes
De cette Foire en dessein merveilleux,
Grâce aux talents d'un homme industrieux[57]
L'an précédent, sans ordre et sans justesse,
Ce lieu n'avait ni grâce ni noblesse ;
Duchêne seul, débrouillant ce chaos,
Sut arranger élégamment ce clos.
Considérez quelle juste harmonie
On voit régner en sa moindre partie,
Comme son plan uniforme, parfait,
Dans le lointain fait un superbe effet.
Voyez partout ces riches galeries,
Dont la façade, en arcades bâties,
Est déchirée en superbes cristaux,
Enjolivés de brillants chapiteaux.
À peine l'ombre entoure l'hémisphère,
Qu'en chacun d'eux est mise une lumière,
Dont le reflet répand un jour si doux,
Que le Soleil en est presque jaloux.
[…]
Là, sous ces toits de plus mince structure,
Brille avec art l'élégance parure
Des doux vainqueurs de notre liberté,
Pour ajouter du lustre à leur beauté.
[…]
Tout se présente à nos yeux éblouis,
Dans cet enclos, mieux qu'il était jadis :
Car si dans l'ordre il est du changement,
Il en résulte un nouvel agrément.
Vous le savez, ô vous qui dans la presse
Ne pouviez pas démener votre espèce,
Et qui souvent, pris dans d'étroits détours,
Sentiez de l'air intercepter le cours.
Vous n'aurez plus cette horrible torture,
Et vous pourrez errer à l'aventure ;
Un vaste champ est ouvert sous vos pas[58]
Jonché partout de différents appas.

La description de la nouvelle foire qui y est faite semble correspondre à la représentation de la vue d'optique. Dès lors cette vue pourrait représenter au moins une partie des loges foraines qui furent reconstruites dès 1763 mais il est peu probable

57 En note dans le texte original :
Le même architecte qui décora la Foire Saint-Ovide l'année dernière.

58 En note dans le texte original :
Ceci est apocryphe : car la Foire est encore trop resserrée en de certains endroits, et on ne devait pas bâtir autour des Loges de Spectacle ; mais simplement y placer les galeries à nu, ce qui aurait donné beaucoup plus d'espace pour se promener.

qu'une telle décoration ait persisté plus tard : on en sait finalement très peu sur l'aspect de la Foire après son incendie.

En revanche, grâce à l'ensemble de ces représentations, nous sommes en mesure d'avoir une bonne idée de la morphologie de la Foire Saint-Germain avant son incendie, de la structure de sa charpente jusqu'à l'organisation de ses loges. Il convient néanmoins de garder en tête que l'intérieur des halles était probablement particulièrement mouvant : d'une année sur l'autre, des modifications substantielles pouvaient avoir lieu, au gré des échanges de propriété des loges foraines.

Ce tour d'horizon de la production graphique concernant la Foire Saint-Germain permet de mieux envisager l'évolution de la Foire Saint-Germain jusqu'à la fin du XVIII^e^ siècle. Il offre à voir comment les bâtiments ont persisté dans le tissu urbain d'un Paris en pleine expansion. La pression immobilière de la capitale s'est manifestée à la fin du premier quart du XVIII^e^ siècle par la construction du Marché Saint-Germain. La foire s'est enfin réinventée à la suite d'un incendie dévastateur en 1762. L'étude de cette histoire par le biais des représentations permet également d'aller plus en détail dans l'architecture du lieu ; des parallèles peuvent ainsi être dressés entre les halles foraines et des marchés contemporains du XV^e^ siècle comme les Halles de Crémieu datées de 1434 et dont la charpente est semblable à celle des représentations de la Foire Saint-Germain. L'étude des gravures et peintures, plus que celle des plans, montre que cette foire était intimement liée aux spectacles que l'on y donnait et qu'il s'agit à présent d'aborder.

Lieux et genres des spectacles de la Foire Saint-Germain

Outre l'intérêt commercial de la Foire Saint-Germain, accueillant chaque année dès le 3 février près de trois cents marchands, ce sont les spectacles qui y furent joués qui en ont fait la renommée, même après sa disparition. Dès le milieu du XVII^e^ siècle en effet des spectacles s'installent parmi les loges des marchands ; ils vont prendre un essor considérable au XVIII^e^ siècle.

Les différentes formes de spectacles qui se jouaient dans ces foires, les troupes, les auteurs, ont longtemps été méconnus. Certes, les frères Parfaict publièrent en 1743 leurs *Mémoires pour servir à l'Histoire des spectacles de la Foire, par un acteur forain*, mais les préjugés à leur encontre ont une longévité exceptionnelle[59]. Il faut attendre la fin du XX^e^ siècle pour voir se multiplier les études et les éditions de pièces[60]. Le site de Barry Russell (foires.net[61]) crée un accès à de précieuses archives ; le site CESAR (Barry Russell, David Trott et Jeffrey Ravel) permet toutes sortes d'enquêtes. Le centre d'études des théâtres de la Foire et de la Comédie-Italienne (CETHEFI) créé en 1999 par Françoise Rubellin à l'Université de Nantes, est un foyer de recherches fécond, qui se manifeste par des colloques, des publications individuelles ou collectives, des collaborations à des spectacles[62], et par des thèses. Celles-ci ont pu récemment revoir de manière très précise l'historiographie des théâtres de la Foire de 1697 à 1717 (Anastasia Sakhnovskaia-Pankeeva) ou de 1717 à 1727 (Fanny Prou) ; écrire l'histoire de la parodie d'opéra (Pauline Beaucé), définir la pratique du vaudeville chez Fuzelier (Loïc Chahine)[63].

Nous sommes convaincu de l'intérêt d'une relecture de ces recherches sous l'angle de l'architecture afin de mieux comprendre les lieux associés aux spectacles de la Foire Saint-Germain. Avec l'objectif de pouvoir recréer une salle de spectacle, nous devons en effet comprendre le contexte et les usages qui régissaient un tel espace. Nous cherchons donc à établir dans quels lieux précis ces représentations avaient lieu, et nous intéressons donc, paradoxalement, à une échelle plus réduite (celle des salles de théâtre) mais sur un territoire plus étendu que la seule foire : les spectacles de la Foire Saint-Germain ayant en effet parfois lieu à plusieurs centaines de mètres de l'enclos de la Foire.

Une telle étude nécessite de définir des bornes chronologiques. Le début des spectacles de la Foire n'est pas aisément datable. Les Frères Parfaict partent de 1678 (voir plus loin, Jeu de paume d'Orléans), d'autres historiens font commencer plus tôt le théâtre, d'autres insistent sur l'importance de l'expulsion en 1697 des Comédiens Italiens de Paris, permettant aux troupes foraines de reprendre une partie de leur répertoire et de leurs techniques. Quant à la fin des spectacles forains, on peut la fixer vers 1791, date de l'abolition des privilèges des théâtres, ce qui donne à cette histoire une durée d'un peu plus d'un siècle. Si ces bornes correspondent en effet à des événements clés de l'histoire des spectacles de la Foire Saint-Germain, elles ne correspondent pourtant pas à des éléments de rupture dans l'histoire de l'architecture des lieux de spectacles ou des bâtiments de la Foire. L'année 1791 reste une date de fin adaptée puisqu'on sait que la Foire Saint-Germain elle-même périclite à cette période, de même que les salles de spectacles qui y persistent. Nous proposons en

59 Rizzoni 2010, p. 129 et suivantes.
60 Rubellin 2005a, p. 7 et suivantes.
61 Aujourd'hui disponible à l'adresse : http://www.theatrales.uqam.ca/foires/
62 Ainsi les spectacles de parodie d'opéra de Jean-Philippe Desrousseaux ont-ils pu bénéficier des ressources du CETHEFI et du conseil dramaturgique de F. Rubellin (*Polichinelle censeur des théâtres*, *La Belle-mère amoureuse*, parodie d'*Hippolyte et Aricie*, *Atys en Folie*, *La Guerre des théâtres*).
63 Ces quatre thèses, dirigées par F. Rubellin, sont accessibles en ligne.

revanche de commencer l'histoire architecturale des théâtres forains à la moitié du XVII^e siècle : déjà en 1646 une permission fut donnée pour un spectacle de danse de corde et de marionnettes à la Foire Saint-Germain[64]. Entre ces deux dates, deux événements ont des conséquences importantes sur l'emplacement et l'architecture des lieux de spectacles forains : la disparition du préau de la Foire en 1726 et l'incendie de la Foire en 1762.

Nous souhaitons établir un bref panorama du paysage théâtral de Paris au cours des XVII^e et XVIII^e siècles en nous intéressant particulièrement aux emplacements de l'Opéra, de la Comédie-Française et de la Comédie-Italienne. Nous recenserons ensuite les entreprises de spectacle. Enfin, nous aborderons les genres des spectacles joués à la Foire et comment ils peuvent requérir des architectures spécifiques, sur fond de guerre des théâtres avec l'Opéra, la Comédie-Française et la Comédie-Italienne.

Le paysage théâtral forain et les lieux de spectacle de Paris aux XVII^e et XVIII^e siècles

La situation des spectacles de la capitale au XVIII^e siècle est en grande partie définie dès la fin du XVII^e siècle par la politique culturelle de Louis XIV et la création de deux institutions : l'Académie Royale de Musique créée en 1669 et la Comédie-Française en 1680. Ces deux institutions jouissent d'un privilège royal, sorte de monopole qui leur permet d'être les seules à jouer des comédies à Paris pour la Comédie Française, et des pièces en musique pour l'Académie Royale de Musique (qui deviendra l'Opéra). Les Comédiens Italiens jouent également dans la capitale depuis le début du XVII^e siècle ; ils ne sont pas concernés par le monopole accordé à la Comédie-Française en 1680. Les privilèges accordés à l'Opéra et à la Comédie-Française auraient dû verrouiller, en quelque sorte, le paysage théâtral parisien mais il n'en est rien : à une époque de véritable théâtromanie, de nombreux entrepreneurs sont prêts à tout tenter pour obtenir l'attention des spectateurs.

En un siècle et demi, depuis les premiers spectacles des Comédiens-Italiens (et des troupes françaises de l'hôtel Guénégaud et de l'hôtel de Bourgogne, futurs comédiens français) jusqu'à la loi du 13 janvier 1791 dérégulant les spectacles[65], l'évolution des lieux de spectacles officiels a été particulièrement complexe. Cette évolution suit également la modification et l'agrandissement du tissu urbain parisien durant toute cette époque : la salle de l'Opéra construite par Lenoir en 1781 à la porte Saint-Martin occupe ainsi un espace qui n'était encore que des champs entourant la ville au début du XVIII^e siècle. En retraçant l'évolution des lieux de spectacles des grandes institutions dans la capitale on voit bien que les troupes sont sans cesse en mouvement, soit parce que des événements extérieurs sont venus perturber leur fonctionnement normal (on pense notamment aux deux incendies de l'Opéra en 1763 et 1781), soit parce que l'augmentation de la jauge ou des besoins scéniques nécessitait la construction de nouvelles salles.

La Comédie-Italienne s'installe ainsi dans le théâtre du Palais-Royal, actuelle rue Saint-Honoré, en 1660 avant de se déplacer au jeu de paume de l'Hôtel de Bourgogne, rue Mauconseil, actuelle rue Étienne-Marcel, en 1680. La Comédie-Italienne sera fermée en 1697 et rouverte en 1716 à la faveur de la mort de Louis XIV et de la protection du Duc d'Orléans. Les Comédiens Italiens gardent alors leur emplacement rue Mauconseil, même lors de la réunion de l'Opéra-Comique à la Comédie-Italienne en 1762. En 1783, les Comédiens Italiens s'installeront dans un nouveau théâtre, Théâtre Favart, entre l'actuel Boulevard des Italiens et la place Boieldieu.

64 Parfaict 1743, t. I, p. XLV.
65 Radicchio et Sajous D'Oria 1990, p. 20.

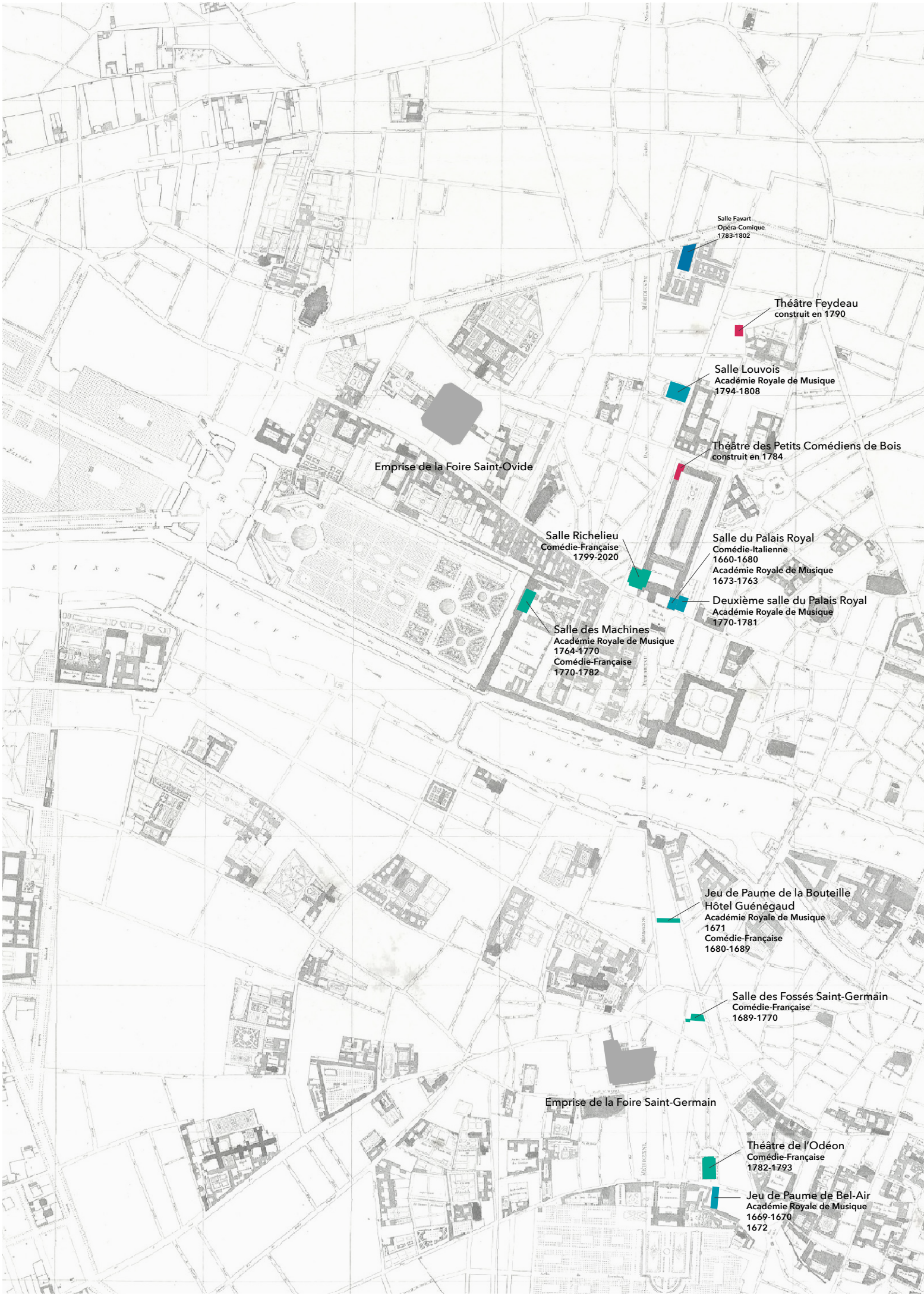
L'Académie Royale de Musique, occupe quant-à-elle le jeu de paume de Bel-Air lors de sa création en 1669 : ce jeu de paume était situé sous l'actuel Jardin du Luxembourg rue de Vaugirard. Elle se déplace en 1671 au jeu de paume de la Bouteille[66], à l'angle des actuelles rues Mazarine et Jacques Callot avant de revenir au jeu de paume de Bel-Air en 1672[67]. Par privilège royal, l'Opéra est alors autorisé à gagner le théâtre du Palais Royal en 1673[68], qu'il partage alors avec la Comédie-Italienne jusqu'à son départ en 1680. L'Opéra reste au Palais-Royal jusqu'en 1763 lorsqu'un incendie détruit la salle et oblige les comédiens à jouer en 1764 dans la Salle des Machines des Tuileries[69]. Cette salle construite au XVII^e siècle dans le château des Tuileries, à l'acoustique réputée déplorable[70], fut occupée jusqu'en 1770. Cette année là, l'Académie Royale de Musique peut jouer dans une nouvelle salle construite au Palais Royal[71], légèrement à l'est de la précédente… avant qu'un nouvel incendie en 1781 ne pousse les comédiens à faire construire un nouveau théâtre à la Porte Saint-Martin[72], entre les actuels boulevard Saint-Martin et rue René Boulanger. Pendant le court délai de construction, l'Opéra occupe la salle des Menus-Plaisirs[73]. Finalement, l'Opéra s'installe en 1794 dans la salle Louvois[74], rue de Richelieu à la place de l'actuel Square Louvois.

La Comédie-Française, issue de la fusion des troupes de l'Hôtel Guénégaud et de l'Hôtel de Bourgogne (deux jeux de paume du XVII^e siècle), s'installe dans l'hôtel Guénégaud en 1680, à l'emplacement du jeu de paume de la Bouteille. Elle laisse donc vacant l'Hôtel de Bourgogne pour les Italiens qui l'occupent dès cette année. Chassés en 1689, les Comédiens Français s'installent rue des Fossés Saint-Germain, actuelle rue de l'Ancienne Comédie, où ils restent jusqu'en 1770. C'est en visualisant la proximité de cette salle avec la Foire Saint-Germain, distante d'à peine 500 mètres à pied, que l'on comprend la très grande réactivité de la Comédie-Française à l'égard des spectacles qui se jouaient à la Foire. Les Comédiens Français déménagent en 1770 dans la Salle des Machines du palais des Tuileries que venait de laisser vacante l'Opéra et y restent jusqu'en 1782. À cette date, ils s'installent à l'Odéon, place de l'Odéon, et y restent jusqu'en 1793. La troupe ne réapparaît qu'en 1799 dans la salle Richelieu nouvellement construite au Palais Royal, à l'ouest cette fois du palais, sur l'actuelle place Colette.

La visualisation de ces théâtres sur un plan (*Fig. 93*) montre que la plupart se répartissent sur un axe sud-nord allant de l'actuel palais du Luxembourg jusqu'au Boulevard des Italiens ; il faut sans doute y voir une certaine polarité des richesses, traditionnellement plutôt regroupées à l'ouest de Paris. De même, les lieux de spectacles se regroupent également autour des lieux de pouvoir que sont alors le palais des Tuileries, le palais du Louvre (tous deux résidences royales puis importants creusets artistiques après le départ du roi à Versailles) et le palais du Luxembourg (résidence du Duc d'Orléans). Au cours de cette période, les théâtres officiels sont donc particulièrement mobiles, et si certains se succèdent au sein d'une même salle, leurs déplacements laissent souvent des salles vacantes. Que deviennent ces salles une fois qu'elles ne sont plus utilisées ? Elles sont, pour les théâtres forains, autant d'occasions d'investir des lieux de prestige avec une jauge importante.

Pour avoir une idée du panorama de l'offre de spectacles dans Paris au XVIII^e siècle, il convient également d'ajouter la présence des deux grandes foires parisiennes : la Foire Saint-Germain et la Foire Saint-Laurent où de nombreux spectacles ont lieu chaque année. Il faut y ajouter à partir de 1764 la Foire Saint-Ovide. À partir de

66 Lasalle 1875, p. 9.
67 *Ibid.*, p. 21.
68 *Ibid.*, p. 25.
69 *Ibid.*, p. 63.
70 *Ibid.*, p. 67.
71 *Ibid.*, p. 79.
72 *Ibid.*, p. 135.
73 *Ibid.*, p .131.
74 *Ibid.*, p. 181.


Salle Favart
Opéra-Comique
1783-1802
Théâtre Feydeau
construit en 1790
Salle Louvois
Académie Royale de Musique
1794-1808
Théâtre des Petits Comédiens de Bois
construit en 1784
Emprise de la Foire Saint-Ovide
Salle Richelieu
Comédie-Française
1799-2020
Salle du Palais Royal
Comédie-Italienne
1660-1680
Académie Royale de Musique
1673-1763
Deuxième salle du Palais Royal
Académie Royale de Musique
1770-1781
Salle des Machines
Académie Royale de Musique
1764-1770
Comédie-Française
1770-1782
Jeu de Paume de la Bouteille
Hôtel Guénégaud
Académie Royale de Musique
1671
Comédie-Française
1680-1689
Salle des Fossés Saint-Germain
Comédie-Française
1689-1770
Emprise de la Foire Saint-Germain
Théâtre de l'Odéon
Comédie-Française
1782-1793
Jeu de Paume de Bel-Air
Académie Royale de Musique
1669-1670
1672

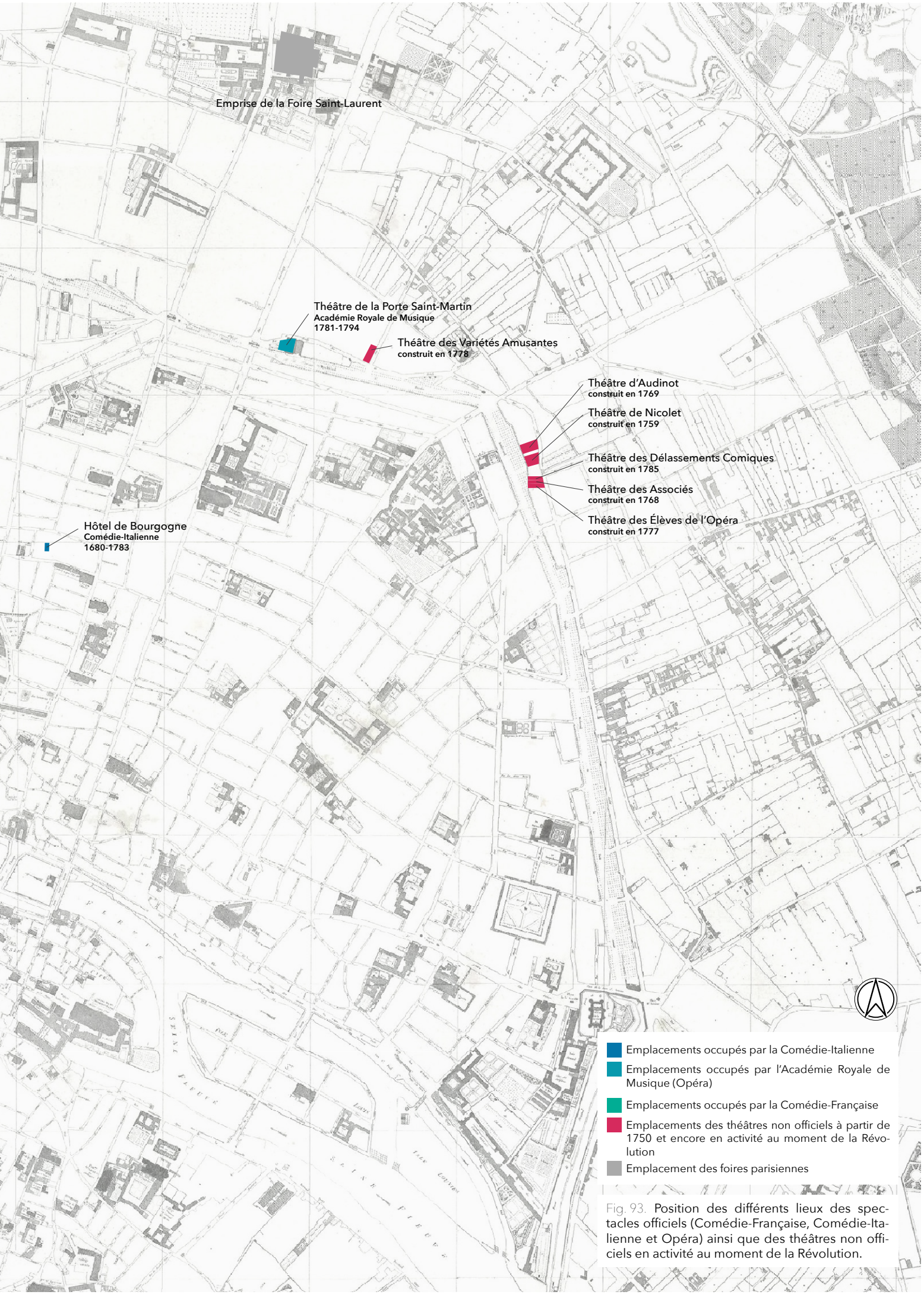


Fig. 93. Position des différents lieux des spectacles officiels (Comédie-Française, Comédie-Italienne et Opéra) ainsi que des théâtres non officiels en activité au moment de la Révolution.

la deuxième moitié du XVIIIe siècle, de nombreux autres théâtres furent construits, notamment sur les boulevards au nord-est de Paris, trahissant une multiplication importante de l'offre de spectacles : Théâtre de Nicolet en 1759, Théâtre des Associés en 1768, Théâtre d'Audinot en 1769, Théâtre des Élèves de l'Opéra en 1777, Théâtre des Variétés Amusantes en 1779 et en 1790, Théâtre des Petits Comédiens de bois du Comte de Beaujolais en 1784, Théâtre des Délassements Comiques en 1785, Théâtre Feydeau en 1790[75]…

Entrepreneurs et lieux de spectacles à la Foire Saint-Germain

Des expressions comme « le théâtre forain » peuvent faire oublier que les spectacles qui se jouaient à la Foire Saint-Germain (comme à la Foire Saint-Laurent et Saint-Ovide) sont multiples. Comme le rappelle Françoise Rubellin :

> L'emploi du singulier (« le théâtre ») est déjà une première simplification qui fausse la perspective : plutôt que d'évoquer le théâtre de la Foire (titre de la célèbre anthologie publiée par Le Sage et d'Orneval[76]), il conviendrait d'évoquer plutôt les théâtres, pour prendre en compte les différentes formes, les différents genres, les différents lieux. […] La variété des salles et des moyens des spectacles des deux grandes foires est presque toujours négligée[77].

Il existe en effet chaque année pendant la durée de la Foire plusieurs troupes tenues par des entrepreneurs qui présentent simultanément des spectacles de genre, de facture et de succès variable. Dans cette très grande diversité, on ne peut juger sur un même plan les spectacles donnés par des dresseurs d'animaux, comme le sieur Marquini qui montre un ours blanc à la Foire, et ceux donnés par des troupes théâtrales. Pourtant l'entrelacement de ces différents spectacles ne semble poser aucune difficulté à l'époque : le singe Turco apparaît sur la scène théâtrale à Paris en 1766 et joue sur le théâtre de Nicolet au milieu, semble-t-il, d'acteurs réels[78]. Les infrastructures nécessaires à ces deux types de spectacles ne sont de toute évidence pas du tout comparables : si un montreur d'ours pouvait se contenter tant bien que mal de l'espace réduit d'une loge foraine (dont les dimensions sont limitées, pour rappel, à 3 × 3 m) on voit mal comment un spectacle théâtral pouvait s'accommoder d'une surface aussi exiguë.

Nous souhaitons diviser cette étude des entrepreneurs et lieux associés en trois périodes distinctes : de la naissance des spectacles forains à 1725, date de la destruction du préau de la Foire, de 1726 à 1762, date de l'incendie de la Foire, puis de 1762 à 1791, date de l'abolition des privilèges. L'ensemble des lieux identifiés et positionnés est visible sur le plan des environs de la Foire Saint-Germain page 196.

De la naissance des spectacles forains à 1725

Pour restituer les noms et positions des lieux de spectacle et des entrepreneurs qui les fréquentaient pendant la première période, qui s'étend jusque fin 1725, nous nous appuierons sur les thèses d'Anastasia Sakhnovskaia-Pankeeva[79] et de Fanny

75 Radicchio et Sajous D'Oria 1990, p. 69-79.
76 Le Sage et D'Orneval, 1721.
77 Rubellin 2018, p. 209.
78 Campardon 1877, « Turco ». La personnification de ce pauvre singe le mena à une mort par indigestion de dragées en 1768.
79 Sakhnovskaia-Pankeeva 2013.

Prou[80] qui dressent un portrait, année par année, des entrepreneurs et lieux de spectacles de la Foire.

Jeu de paume de Cercilly à la Fleur-de-Lys

Ce jeu de paume n'apparaît qu'une fois dans la documentation : en 1668, Archambault, Artus et Féron s'associent pour monter un spectacle de danse de corde et de marionnettes dans ce jeu de paume[81]. La position de ce jeu appartenant à Cercilly, maître paulmier, peut être déduite de l'enseigne qui le caractérisait : la fleur de lys. Or, la « maison de la fleur de lys » était la cinquième maison en partant de l'ouest, sur le côté nord de la rue des Boucheries entre la rue de Bussy et celle des Mauvais Garçons[82]. On peut raisonnablement penser que c'est ici que se tenait le jeu de paume du même nom, d'autant que l'emplacement est particulièrement avantageux : il fait face ou presque au passage de la Treille reliant la rue des Boucheries du Préau de la Foire.

Jeu de paume de Milan

Ce jeu est évoqué en 1681 lorsque Maurice Vondrebek s'associe à Nicolas Ferron pour y donner un spectacle de marionnettes (et de danse de corde ?). La localisation de ce jeu n'est pas aisée et nous n'avons pas accès à d'autres données que celles auxquelles Anastasia Sakhnovskaia-Pankeeva a eu accès[83] ; tout au plus une archive d'un certain Pierre de Montalambert en 1648, écuyer, précise que celui-ci loge « à Paris près de la porte Saint-Germain-des-Prés, au Jeu de paume de Milan »[84]. On sait donc que le jeu de paume se tenait près de la rue des Boucheries. La *Topographie Historique du Vieux Paris* vient préciser encore cet emplacement, puisque la première maison entre la porte Saint-Germain et la rue de Condé, du côté sud de la rue des Boucheries « renfermait un jeu de paume, qu'on appelait en 1561 le jeu de paume du château de Milan »[85]. La zone est difficile à interpréter aujourd'hui puisqu'elle a été fortement remaniée à la suite de la destruction de l'enceinte et de la porte de Saint-Germain mais la *Topographie Historique* précise que l'emplacement faisait huit toises de large pour une profondeur de huit toises… soit une salle de spectacle dont la plus grande dimension n'excédait pas 15,5 m.

Jeu de paume du Dauphin

Ce jeu de paume a été occupé au début dans la deuxième moitié du XVII[e] siècle puisqu'on possède deux mentions de spectacles ayant pris place dans ce jeu : en 1681, Languicher y donnait des spectacles de comédie, et en 1685 la Veuve Archambault y donnait également des spectacles de danse de corde[86]. En 1690, il est également utilisé par les marionnettes d'Alexandre Bertrand[87]. Le nom du jeu de paume du Dauphin disparaît ensuite de la documentation.

La position de ce jeu de paume aux abords de la Foire Saint-Germain n'est pas évidente : le document qui mentionne ce jeu en 1681 précise qu'il est placé « rues des Quatre Vents et de la Boucherie »[88]. Or, les deux rues citées sont parallèles et séparées d'au moins 110 m, une longueur très importante pour imaginer un bâtiment à double entrée ayant pignon sur chacune des deux rues. On peut néanmoins imaginer que par « rue des Quatre Vents » l'auteur ait voulu indiquer le cul-de-sac

80 Prou 2019.
81 Sakhnovskaia-Pankeeva 2013, p. 141.
82 Berty 1876, p. 33.
83 Sakhnovskaia-Pankeeva 2013, p. 149.
84 A.N. MC/ET/LXXIII/386.
85 Berty 1876, p. 28.
86 Sakhnovskaia-Pankeeva 2013, p. 149-150.
87 *Archives de la Comédie-Française*, sentence de police contre Bertrand du 10 février 1690, 1706 [en ligne : http://www.theatrales.uqam.ca/foires/mss_cf04.html#16900210].
88 *Archives de la Comédie-Française*, Troisieme Dossier: Contre Languicher danseur de corde, 20 mars 1681 [en ligne : http://www.theatrales.uqam.ca/foires/mss_cf03.html].

des Quatre Vents. Entre l'extrémité nord du cul-de-sac et la rue des boucheries, il reste toujours une centaine de mètres, mais le plan de 1713 de Paris par Jaillot (*Fig. 94*) montre que la zone était occupée par un jardin et un bâtiment : on aurait pu imaginer un jeu de paume, en arrière cour d'un bâtiment donnant sur la rue des Boucheries et donc desservi par les deux rues. Un autre argument vient appuyer cette théorie, la description de l'emplacement du jeu de Bertrand en 1690 par les Frères Parfaict, l'année où un rapport de police situe justement Bertrand au jeu de paume du Dauphin rue des Quatre Vents[89] :

> En 1690, il fit bâtir une loge dans le préau de la Foire de Saint-Germain, et augmenta son jeu de marionnettes d'une troupe de jeunes gens de l'un et de l'autre sexe, qui représentèrent une petite comédie[90].

Selon les frères Parfaict donc, la loge de Bertrand était dans le préau de la Foire Saint-Germain, une expression qui ne signifie pas toujours *stricto sensu* que le bâtiment est construit dans la limite du préau, mais qu'il possède un accès où une porte donnant sur ce préau[91]. Sur le plan de 1713, un grand bâtiment est figuré, et semble effectivement avoir un accès sur le préau, tout en ayant une clôture avec le cul-de-sac des Quatre Vents.

Or, la *Topographie Historique du Vieux Paris* stipule qu'entre les rues de Condé et du Cœur volant, à la troisième maison en partant de l'est sur la partie sud de la rue des Boucheries se tenait la « Maison et Jeu de paume du Dauphin, qui, ainsi que toutes les maisons suivantes, aboutissait, dès 1523, à la rue des Quatre-Vents[92] », loin du préau et du cul-de-sac. Une telle disposition rend dès lors impossible tout accès depuis le préau, et vient rendre caduc le témoignage des Frères Parfaict… mais la date reculée de l'événement par rapport à la date d'édition des Mémoires rend cette erreur tout à fait possible. À moins bien sûr que Bertrand n'ait eu deux jeux pendant cette foire.

Ce sont les modifications commandées par la Veuve Archambault dans cette salle de spectacle qui permettent de s'en faire une meilleure idée :

> […] un grand théâtre, loge de violons, amphithéâtre, galeries, clôture de galerie, plafond... un tremplin, chandelier de bois, soixante chaises, gradins au côté du théâtre, garnir l'amphithéâtre de bancs et décorations... et une petite loge derrière le théâtre pour habiller les danseurs... moyennant 180 livres[93].

On comprend que la salle devait posséder une grande scène, un espace délimité pour des violons, un amphithéâtre, c'est-à-dire un ensemble de bancs en face de la scène, au fond de la salle. Les galeries sont les balcons entourant l'espace central de la salle (que l'on nommerait aujourd'hui « premières loges »), qui doivent recevoir un garde-corps (la « clôture »). Les « gradins au côté du théâtre » désignent-ils des gradins construits de part et d'autre de l'espace central de la salle, le long des murs latéraux, ou bien sur la scène ? Il est difficile de se positionner sur ce point.

Jeu de paume d'Orléans

Le jeu de paume d'Orléans est à n'en pas douter un haut lieu des spectacles de la Foire Saint-Germain. La première mention de ce jeu apparaît en 1659 où on y joue *L'École des cocus* par les Comédiens de Mademoiselle. C'est dans ce théâtre qu'on

89 Archives de la Comédie-Française, sentence de police contre Bertrand du 10 février 1690, 1706 [en ligne : http://www.theatrales.uqam.ca/foires/mss_cf04.html#16900210].

90 Parfaict 1743, t. I, p. 9.

91 Pour s'en convaincre, il suffit d'observer les plans du projet FSG-PRE, au chapitre VII, qui spécifie « dans le préau », alors que le projet est à l'extérieur de celui-ci.

92 Berty 1876, p. 29.

93 Sakhnovskaia-Pankeeva 2013, p. 150, citant Archives Nationales, Minutier Central, LXX, 181.

donne ce que les Frères Parfaict disent être la première pièce foraine : *Les Forces de l'amour et de la magie* par les troupes de Maurice Vondrebeck et Alard en 1678. C'est aussi dans cette loge que la veuve de Maurice Vondrebeck (ci-après « Veuve Maurice »), qui l'occupe de 1698 à 1709, peut donner les premiers spectacles chantés et dansés avec un privilège monnayé à l'Opéra en 1699. De 1710 à 1714, le jeu d'Orléans est occupé par Alard[94] puis est contrôlé par un dénommé Octave qui y fait jouer la troupe de Dolet[95]. En 1715, Catherine Baron, fille de la Veuve Maurice, retrouve le lieu de spectacle familial lors d'une association avec l'entrepreneur de spectacles Saint-Edme et y monnaye de nouveau le privilège de l'Opéra[96] et ce jusqu'en 1718. En 1721, et probablement déjà en 1720, Lalauze occupe cet emplacement avec le privilège de l'Opéra-Comique[97] de manière très infructueuse ; c'est la dernière mention de ce jeu de paume à la Foire Saint-Germain. On peut donc associer sans peine ce lieu à la naissance de l'Opéra-Comique au début du XVIII^e^ siècle.

Les rapports de police évoquant ce lieu le situent dans la rue des Quatre-Vents[98], sans plus de précision. La *Topographie Historique du Vieux Paris* nous renseigne à nouveau sur l'emplacement de ce jeu de paume dans la courte rue des Quatre Vents, il faisait l'angle avec la rue du Cœur Volant :

> Après le percement de la rue du Coeur Volant, on y construisit une maison qui faisait le coin oriental de cette rue et qui continua à renfermer un jeu de paume, lequel se nommait jeu de paume d'Orléans (1628-1690) et s'étendit sur la maison suivante[99].

Notons que nous pouvons corriger les dates données pour ce jeu dans la *Topographie Historique* puisqu'il est attesté au moins jusqu'en 1721. Le bâtiment, élevé et sans fenêtre comme devait l'être un jeu de paume, apparaît même sur le plan de Turgot en 1735 à l'angle des deux rues.

Que sait-on de l'intérieur de ce jeu de paume si important dans l'histoire foraine ? Peu de choses en réalité puisque les descriptions que l'on possède sont dues aux rapports de police émanant des plaintes de la Comédie-Française ou de l'Opéra… qui sont moins nombreuses pour un théâtre ayant monnayé son privilège à l'Opéra. En 1706 néanmoins, une plainte nous permet d'avoir un aperçu de l'intérieur de la salle :

> Sur quoi, nous commissaire, etc., sommes transportés sur les six heures du soir, dans le jeu de paume d'Orléans occupé par la veuve Maurice, dans lequel avons vu un grand théâtre, accompagné de plusieurs loges à droite et à gauche, le jeu ouvrant par la danse et voltigement de corde, et ensuite sur ledit théâtre, la représentation d'un lit duquel sortaient deux hommes en chemise […][100].

Une autre plainte en 1712 permet également de connaître les dispositifs d'éclairage utilisés sur la scène de ce théâtre :

> Sur quoi nous commissaire, etc., sommes transporté ledit jour 8 février 1712, environ les six heures de relevée, dans ledit jeu de paume d'Orléans, susdite rue des Quatre-Vents, où, après la danse de corde finie, nous avons remarqué que sur le théâtre orné de plusieurs lustres et décorations ont paru plusieurs acteurs et actrices […][101].

94 *Ibid.*, p. 251.
95 *Ibid.*, p. 269, 294.
96 *Ibid.*, p. 335-336.
97 Prou 2019, p. 103.
98 Campardon 1877, t. II, p. 116, citant *Archives des Commissaires au Châtelet de Paris*, n° 2466.
99 Berty 1876, p. 333.
100 Campardon 1877, t. II, p. 116, citant *Archives des Commissaires au Châtelet de Paris*, n° 2466.
101 *Ibid.*, t. I, p. 261, citant *Archives des Commissaires au Châtelet de Paris*, n° 3704.

Ces maigres informations permettent de comprendre que la salle comportait des loges sur les murs latéraux et une scène. Sur cette scène l'éclairage était assuré entre autre par des grands lustres. Que devient le jeu de paume d'Orléans après 1721 ? Lorsque le préau de la Foire Saint-Germain est rasé pendant l'année 1725, l'Opéra-Comique qui occupait alors une loge dans le préau, cherche un nouvel emplacement et fait construire une nouvelle salle rue de Bussy. La salle du jeu de paume d'Orléans n'était-elle plus disponible ou était-elle jugée trop vétuste au regard de l'évolution très importante de l'Opéra-Comique ?

Jeu de la Croix Blanche

Le jeu de La Croix Blanche fut occupé par Louis Nivellon de 1707 à 1711 et on ne connaît aucune autre troupe qui joua dans cette salle. L'emplacement de cette salle de spectacle est précisé dans les *Mémoires* des Frères Parfaict comme étant « au bout de la rue de Tournon, à côté de la porte de la Foire »[102]. La lecture de cette description nous pousserait à placer ce jeu à l'angle sud-ouest de l'intersection entre la Rue de Tournon et la Rue du Petit Bourbon. La *Topographie Historique* ne mentionne pourtant aucun jeu de paume du côté ouest de la rue de Tournon. En revanche, du côté est de la rue, la *Topographie Historique* mentionne « Deux maisons énoncées, en 1523, comme une seule et contenant deux jeux de paume. La première paraît avoir été un jardin en 1595, et toutes deux aboutissent d'abord rue de Tournon[103] ». Mais situées à six maisons de l'extrémité nord de la rue de Tournon, ces deux emplacements nous paraissent éloignés de la description des frères Parfaict… d'autant que près de deux siècles séparent la description de ces établissements avec jeu de paume de leur potentielle utilisation par Nivellon. Une maison de la Croix Blanche, contenant un jeu de paume, est quant à elle identifiée dans la Rue des Fossés Monsieur le Prince (actuelle rue de l'Odéon), mais le jeu de paume qu'elle abritait était semble-t-il nommé « Jeu de paume du Pavillon-Royal »[104], et il serait du reste très étonnant que tous les documents stipulent clairement un établissement « La Croix Blanche » rue de Tournon s'il était placé à une centaine de mètres de cette rue.

Quoi qu'il en soit, l'aménagement de l'intérieur du théâtre de Nivellon en 1707 était apparemment une référence pour Bertrand qui s'engageait à la construction d'une loge qui devait être « semblable à celle du sieur Nivellon » :

> Ledit sieur Bertrand fera rédifier les côtés et bouts et élever le comble de la loge de Saint-Germain semblable à celle du sieur Nivellon, et y fera faire un théâtre, des loges, corridor, derrière, galerie et amphithéâtre, le tout d'une manière convenable, pour le premier janvier prochain […][105].

Il est peu probable que seul le comble (la charpente) soit semblable à celle de la loge de Nivellon, mais bien l'ensemble du théâtre et l'on pourrait donc en déduire que le théâtre de Nivellon comptait donc au moins un étage de loges (appelé « galerie ») avec un amphithéâtre en face de la scène.

Jeu de Paume de Bel-Air

Nous avons déjà évoqué le jeu de paume de Bel-Air, et pour cause : c'est dans ce jeu de paume que l'Académie Royale de Musique (Opéra) donne ses spectacles en 1669, 1670 et 1672. L'emplacement fut utilisé de 1710 à 1717 par Catherine Baron[106], fille de Veuve Maurice. On sait que ce théâtre se tenait rue de Vaugirard, en lieu et place d'une partie des jardins du Luxembourg. Catherine Baron a demandé

102 Parfaict 1743, p. 118
103 Berty 1876, p. 84
104 *Ibid.*, p. 232
105 Paul-Marcetteau 1983b, p. 317 citant A.N., Minutier Central, VII.179, 13 avril 1707.
106 Sakhnovskaia-Pankeeva 2013, p. 237, 253, 294, 310-311, 358 et Prou 2019, p. 56

à ce que la police vienne constater ce qui se jouait dans son spectacle[107], ce qui par chance nous donne l'occasion d'en savoir un peu plus sur la morphologie de cette salle. La salle comprenait en 1710 :

> [...] un théâtre élevé, orné de décorations, de lustres éclairés et d'un orchestre. Aux côtés d'icelui plusieurs loges l'une sur l'autre à double rang, un parterre et un amphithéâtre, le tout rempli entièrement de monde. Sur le théâtre cinq rangs de formes et de chaises, des deux côtés, aussi remplis de monde de l'un et de l'autre sexe et de plus une si grande quantité d'hommes debout que le théâtre en était presque couvert et qu'il y avait à peine sur icelui un petit espace pour les acteurs, ce qui était cause que de temps à autre on criait tout haut : Place au théâtre[108] !

Le théâtre comptait donc deux niveaux de loges superposés, avec un amphithéâtre au fond de la salle, l'ensemble entourant un parterre central. L'information la plus intéressante est notamment la présence de spectateurs sur la scène puisque s'y tenaient cinq rangs de bancs qui bouchaient semble-t-il la vue depuis le parterre. Que devait la salle de 1710 à l'aménagement réalisé quarante ans plus tôt par Vigarani pour l'Opéra de Lully ? Pas grand chose si l'on en croit cette vision romancée de Lasalle :

> Ce fut au milieu de cette prospérité que Lully eut une cause de souci qui n'était pas légère. Il s'aperçut que son architecte, qui avait voulu faire le sorcier en improvisant une salle de spectacle dans le jeu de paume du Bel-Air, n'avait pas pris le temps de bâtir solidement. Les plâtres se fendillaient, les ornements du plafond s'en allaient en miette qui pleuvaient sur la tête des spectateurs. Ce n'était rien : les charpentes, sur lesquelles on avait lésiné, commençaient à fléchir, et le pauvre directeur avec des sueurs froides quand il osait regarder sa salle, où tout prenait un air penché, inéquilibré, menaçant[109] !

Une telle faiblesse de construction, même si elle paraît exagérée, aurait difficilement permis à l'ensemble de perdurer pendant quarante ans ; Catherine Baron dut donc probablement entreprendre des travaux pour réaménager correctement le jeu de paume de Bel-Air. Il aurait même pu retrouver entre temps sa destination première de salle de sport, nécessitant la construction d'une nouvelle structure interne pour pouvoir supporter les loges.

La position de ce jeu de paume est intéressante, parce qu'elle montre un certain éloignement de la Foire Saint-Germain. Le jeu de paume de Milan était en effet situé à une distance de marche de 360 mètres de la Foire depuis la Porte de Tournon, mais celui de Bel-Air est quant à lui situé à une distance de 650 mètres depuis la même porte. On voit bien ici que malgré un attachement certain à la foire, les entrepreneurs pouvaient prendre une certaine liberté avec les limites géographiques de ce qu'il est convenu d'appeler la Foire Saint-Germain.

Les trois loges du préau

D'autres entrepreneurs, au contraire, vont faire le choix de s'installer au plus près de la Foire dans l'espace laissé vacant jusqu'à la fin du XVII^e^ siècle : le préau. C'est probablement Alexandre Bertrand qui fait construire la première loge dédiée aux spectacles dans le préau en 1690, qui sera ensuite nommé « Jeu des Victoires ». Deux autres loges seront construites dans le préau : la Loge Blampignon, du nom de son propriétaire et une troisième sans nom. Ces loges sont visibles dans plusieurs plans de Paris du début du XVIII^e^ siècle, et notamment le plan de 1713 par Jaillot et le plan

107 *Ibid.*, p. 240
108 Campardon 1877, t. II, p. 301.
109 Lasalle 1875, p. 23-24.

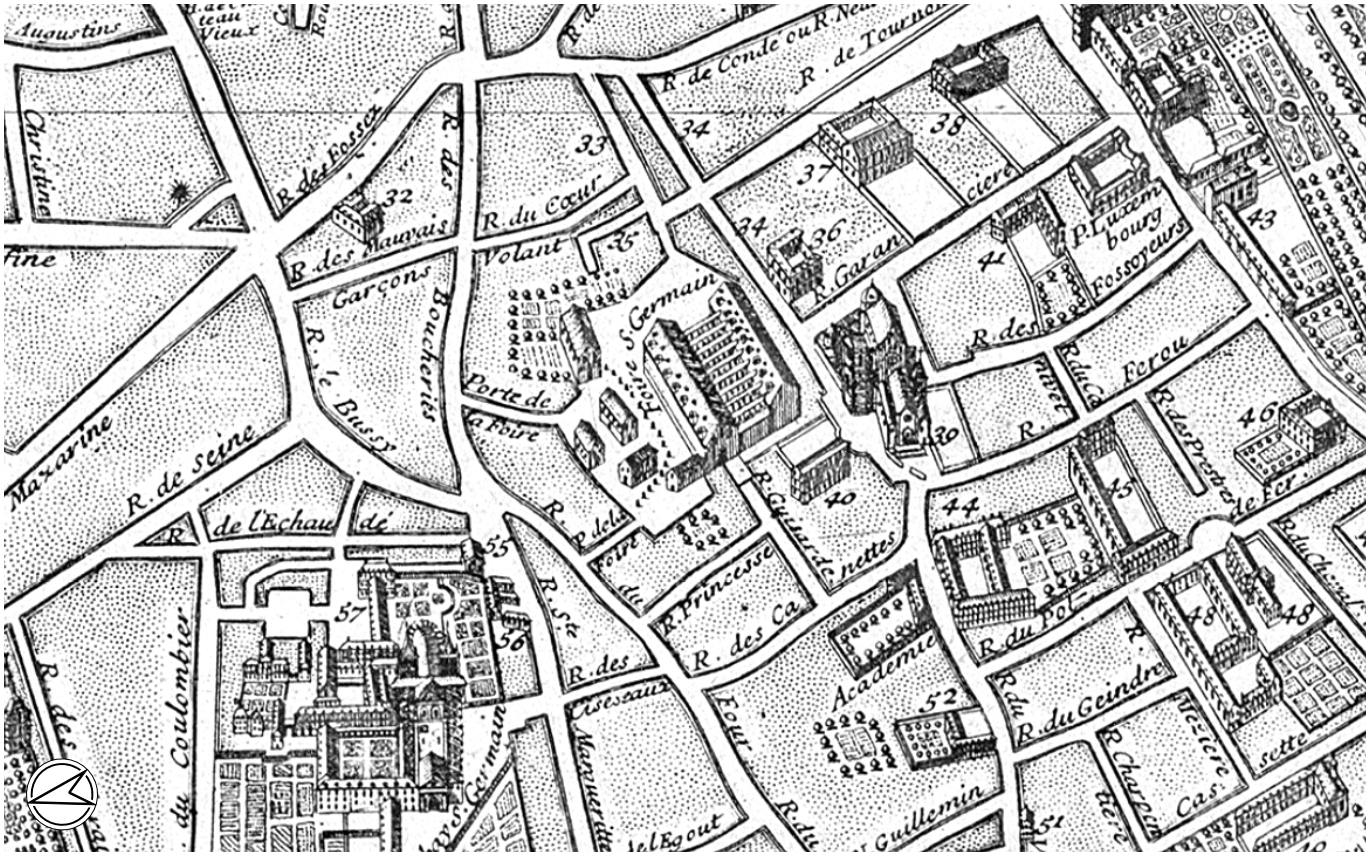


Fig. 94. Plan de Paris gravé par La Caille en 1714. Nous voyons dans le préau de la Foire quatre constructions qui correspondent selon nous à des loges foraines.

de 1714 par La Caille (*Fig. 94*). Ces deux plans montrent clairement quatre loges dans le préau mais la documentation foraine n'en identifie que trois avec certitude.

Le jeu des Victoires

La mention de « jeu des victoires » n'apparaît qu'à partir de 1701, mais Alexandre Bertrand et son frère Jean ont dès 1684 fait construire une loge dans le cul-de-sac des Quatre Vents[110]. Les *Mémoires* des Frères Parfaict indiquent que cet emplacement correspond à l'emplacement « actuel » (au moment de la rédaction) de l'Opéra-Comique. Est-ce à dire que l'adresse précise est celle de l'Opéra-Comique au moment de l'écriture, ou que le cul-de-sac des Quatre Vents est également le lieu où se tint l'Opéra-Comique ? Depuis 1735, celui-ci est en effet installé au fond du cul-de-sac des Quatre Vents[111], mais le secteur a subi des modifications à la suite de la destruction du préau de la Foire en 1725 de sorte qu'il nous paraît improbable que l'emplacement soit identique.

En 1690, les frères Parfaict rapportent qu'Alexandre Bertrand a procédé à la construction d'une loge dans le préau de la Foire Saint-Germain[112]. Il s'agirait donc à première vue d'une autre loge. Or, en 1707 lors de la création d'une société entre Bertrand, Dolet et La Place, le contrat stipule que la loge dont Bertrand est propriétaire est « située dans le préau de la foire Saint-Germain-des-Près dans l'angle attenant le jardin de l'Hôpital »[113]. Nous n'avons trouvé nulle autre mention d'un jardin de l'hôpital, mais les plans de Paris de l'époque (1713 et 1714) sont particulièrement explicites sur ce point : un jardin fait l'angle nord-est du préau, et une des constructions du préau est justement contiguë à ce jardin. Or, cette position est justement à l'extrémité du cul-de-sac des Quatre Vents de sorte qu'il nous paraît tout

110 Sakhnovskaia-Pankeeva 2013, p. 149.
111 Parfaict 1743, t. II, p. 97.
112 *Ibid.*, t. I, p. 9-10.
113 Paul-Marcetteau 1983b, p. 317, citant A. N., Minutier Central, VII.179, 13 avril 1707.

à fait possible d'identifier le même bâtiment par deux adresses différentes, dans le préau ou dans le cul-de-sac.

L'affiche de 1709 pour le spectacle de Dolet et La Place stipule que celui-ci se tiendra « dans la Loge qui était ci devant au sieur Alexandre Bertrand, dans le Préau de la Foire Saint-Germain. C'est dans la grande Loge dans le Préau, attenant la Porte de la Treille »[114]. Cette information est en réalité assez peu discriminante : des quatre bâtiments identifiés dans le préau, trois peuvent être décrits comme attenant la Porte de la Treille. Fort heureusement, l'emplacement que nous pensons pouvoir attribuer au Jeu des Victoires en fait partie, et un procès verbal vient confirmer que le jeu que Bertrand loue exceptionnellement à Octave pour éponger ses difficultés financières[115] est le premier en entrant par la rue de Tournon :

> Inclinant auquel réquisitoire, nous commissaire susdit sommes transporté ledit jour 6 février 1712, sur les cinq heures de relevée, en la grande loge du préau de la foire St-Germain, la première en entrant par la porte de la rue de Tournon, que l'on nous a dit être celle où le sieur Octave fait sa représentation[116].

La première mention du nom « Jeu des Victoires » est celle apparaissant sur une affiche de 1701 :

> *Thésée ou la défaite des Amazones*, divertissement mêlé d'intermèdes comiques, avec tous ses accompagnements sera représenté au Jeu des Victoires, chez Alexandre Bertrand… en cette année 1701[117].

Bertrand occuperait donc cette loge depuis 1690 voire 1684 jusqu'en 1712[118], date à laquelle il fait faillite et doit céder sa loge[119] à Octave jusqu'en 1717, si l'on admet qu'il occupait préférentiellement cet espace, même les années où aucune information particulière à ce sujet ne nous est connue. Cette loge fut-elle reprise par Nicolas Bienfait à partir de 1717 ? Il aurait tout à fait pu reprendre la place de son beau-père Alexandre Bertrand et ce d'autant plus que la salle devait être équipée pour produire des spectacles de marionnette (même si Alexandre Bertrand donnait aussi d'autres formes de spectacles).

Quelle était la dimension de cette loge ? Si l'on en juge par la représentation du plan de Jaillot, elle aurait pu mesurer jusqu'à 20 mètres de large pour quarante mètres de long, soit une salle de dimension très importante. Il est cependant tout à fait possible que le graveur du plan ait exagéré les dimensions de ce bâtiment pour les rendre visibles sur le plan et qu'elles ne reflètent pas les dimensions réelles. Un document déjà cité permet de connaître l'état du jeu des Victoires en 1707, l'acte de société entre Bertrand, Dolet et La Place :

> 2. Ledit sieur Bertrand fera rédifier les côtés et bouts et élever le comble de la loge de Saint-Germain semblable à celle du sieur Nivellon, et y fera faire un théâtre, des loges, corridor, derrière, galerie et amphithéâtre […]
> 3. À l'égard des peintures du devant des loges, du plafond et autres, dont les associés pourront convenir, elles seront faites et payées par eux à frais communs. […]
> 9. Sera mis par les associés un receveur dans le bureau de la loge de Saint-Germain, ou deux s'ils trouvent que mieux soit, auxquels receveurs lesdits associés donneront en compte chaque jour les billet de parterre, amphithéâtre, galeries, loges et théâtre ; et

114 Sakhnovskaia-Pankeeva 2013, p. 222 citant Jules Bonnassies, *Les Spectacles forains et la Comédie-Française. Le droit des pauvres avant et après 1789. Les auteurs dramatiques et la Comédie-Française au XIX^e^ siècle, d'après des documents inédits*, Paris, E. Dentu, 1875, p. 25-26.
115 *Ibid.*, p. 266.
116 Campardon 1877, t. II, p. 186.
117 Sakhnovskaia-Pankeeva 2013, p. 171.
118 *Ibid.*, p. 149, 151, 152, 156, 181, 185, 195, 221, 251 et Prou 2019, p. 56.
119 Paul-Marcetteau 1983a, p. 71.

> donneront aussi dans le même temps des contre billets à une autre personne qui sera placée à la porte d'entrée de ladite loge, sans que ladite personne puisse recevoir aucun argent de ceux qui entreront pour voir lesdits divertissements à peine d'être privée de son emploi ; mettront pareillement des personnes aux portes et entrées desdists amphithéâtre, galerie, loges et théâtre, pour y recevoir lesdits contrebillets […]
> 12. Les loges des limonadiers appartiendront à la société[120].

Le jeu des Victoires subit donc une amélioration en 1707 avec une nouvelle scène, des loges sur deux niveaux et un amphithéâtre. On comprend également que la balustrade de l'étage devra faire l'objet d'une décoration (ce qui est nommé « peinture du devant des loges »). De ce passage, on apprend qu'un système de billets et de contremarques est mis en place afin d'assurer que tous les spectateurs soient placés à une place pour laquelle ils ont bien payé : un système que l'on retrouve à la Comédie-Française[121]. De même, le théâtre est associé à un limonadier, sorte de bar où l'on peut acheter des boissons à consommer pendant la représentation.

Enfin, en 1708, on sait que la loge comprend « un théâtre fort long composé de plusieurs ailes et décorations et un enfoncement en perspective. Le théâtre est également garni d'une rampe de chandelles en face et au bord dudit théâtre, et trois lustres de verre et bois en façon de cristal »[122].

La loge Blampignon

La première mention de cette loge apparaît en 1702 dans les *Mémoires* des Frères Parfaict, comme la « loge qui appartenait au sieur de Blampignon »[123], elle est alors occupée par l'entrepreneur Selles en association avec Bertrand, jusqu'à leur séparation en 1705[124], puis seulement par Selles jusqu'en 1713 où Octave reprend cette loge[125]. Il la garde semble-t-il jusqu'en février 1715, date à laquelle il vend les décorations de celles-ci, en pleine Foire, à un certain Romagnesi[126]. On voit réapparaître cette loge en 1719 puisqu'elle est investie par Dolet et sa troupe[127], et en 1720 elle est également occupée par un dénommé Christophe qui y donne des spectacles[128]. Or, cette même année 1720 voit également la troupe de Francisque jouer dans la loge de Selles[129]… qui occupait auparavant la loge Blampignon ! Y avait-il deux troupes dans la loge Blampignon à cette époque, ou Selles était-il propriétaire d'une autre loge sans qu'on ait retrouvé de documents l'attestant ?

Un rapport de police du 21 février 1706 spécifie que la loge était située au milieu du préau :

> Et le lendemain samedi, 21[e] jour dudit mois, sur les six heures du soir, nous étant pareillement transporté dans le préau de la foire dans une grande loge, étant au milieu,

120 Paul-Marcetteau 1983b, p. 317-319, citant A. N., Minutier Central, VII.179, 13 avril 1707. Nous modernisons l'orthographe.

Nous devons ici indiquer notre désaccord face à l'interprétation que fait l'auteure de deux points non reproduits ici, les points 4 et les points 16. Le premier indique que Bertrand prête ses marionnettes à la Foire Saint-Laurent uniquement, et le deuxième qu'à la Foire Saint-Germain les spectacles des associés seront dénommés « Dollet et Laplace dans la loge de Bertrand ».

Agnès Paul y voit le signe d'une plus grande célébrité de Bertrand à la Foire Saint-Germain. Nous y voyons plutôt le signe que Bertrand comptait continuer dans un autre local ses spectacles de marionnettiste à la Foire Saint-Germain, tout en louant sa grande et (coûteuse) salle du Jeu des Victoires.

121 Ravel 2002.
122 Paul-Marcetteau 1983a, p. 211.
123 Parfaict 1743, I, p. 29.
124 Sakhnovskaia-Pankeeva 2013, p. 185.
125 Paul-Marcetteau 1983a, p. 72.
126 *Ibid.*, p. 74.
127 *Ibid.*, p.79.
128 Campardon 1877, I, p. 203-204.
129 Prou 2019a, p. 96.

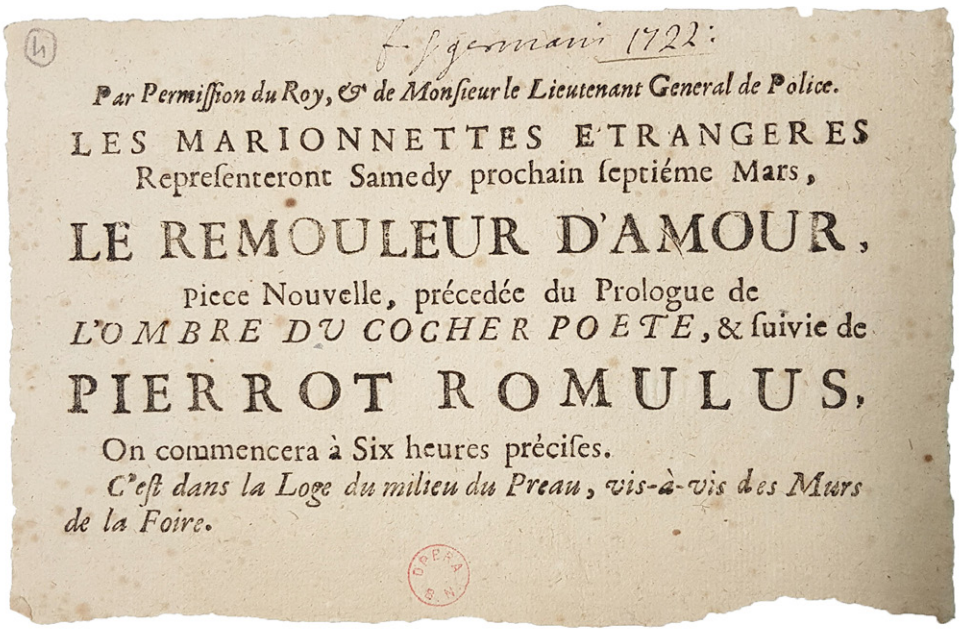


Fig. 95. Affiche pour *Pierrot Romulus* et *Le Rémouleur d'Amour*, données à la Foire Saint-Germain de 1722 dans la « loge du milieu du préau ». Image communiquée par Françoise Rubellin.

> occupée par le nommé Christophe Selles, y avons trouvé pareillement un théâtre établi et plusieurs loges à droite et à gauche[130].

En 1719, cette loge est indiquée comme étant « du côté de la rue du Four »[131], ce qui nous orienterait vers la loge la plus à l'ouest de l'ensemble des loges du préau.

La troisième loge du préau

Alors qu'en 1706 les entrepreneurs Selles et Bertrand occupent tous les deux une loge dans le préau de la Foire[132], respectivement la loge Blampignon et le jeu des Victoires, un troisième entrepreneur y possède une loge : Restier[133]. Les rapports de police sont explicites à ce sujet, puisque pour la même soirée du 21 février 1706 les agents ont bien visité une troisième loge du préau :

> Comme aussi nous étant transporté dans une autre grande loge du même préau, occupée par ledit Bertrand, y avons trouvé même appareil et représentation de farces et pièces de comédie mêlées d'italien et français.
> Et dans la loge du nommé Restier, pareil spectacle[134].

La loge de Restier est alors située entre la porte de la Treille et celle de la rue du Four[135] et il semble l'occuper jusqu'en 1719 puisqu'en 1720 il s'associe avec Delalauze pour jouer des pièces dans le jeu de paume d'Orléans[136]. Leur association dure jusqu'en 1721 à la Foire Saint-Germain[137]. Restier est toujours actif à la Foire Saint-Germain jusqu'en 1725 et occupait vraisemblablement cette même loge du préau.

130 Campardon 1877, t. II, p. 116-117, citant *Archives de Commerce*, N° 2466.
131 Prou 2019a, p. 92, citant A.N. Minutier Central ET/XXXI/67.
132 Sakhnovskaia-Pankeeva 2013, p. 190-191.
133 *Ibid.*, p. 190-191.
134 Campardon 1877, t. II, p. 116-117, citant *Archives de Commerce*, N° 2466.
135 Paul-Marcetteau 1983a, p. 73.
136 Prou 2019a, p. 103.
137 Paul-Marcetteau 1983a, p. 80-81.

La précision de la position de la loge entre les deux portes ne nous aide pas : trois loges sur les plans sont construites entre ces deux portes !

Les difficultés que nous avons à replacer avec précision ces deux loges nous semblent dues à plusieurs facteurs. D'une part, et on le voit bien à la lecture des rapports de police ou des affiches, la notoriété de ces salles de spectacle était suffisante pour ne pas avoir besoin de préciser leur adresse. Lorsqu'en 1722 on donne *Le Rémouleur d'Amour* et *Pierrot Romulus* à la Foire Saint-Germain, on précise seulement que le spectacle aura lieu « dans la loge du milieu du préau, vis-à-vis des murs de la Foire » (*Fig. 95*). Si nous serions tenté d'y voir la construction la plus au sud du groupe de quatre loges, et donc celle la plus proche des murs de la Foire, il n'est pas exclu que le vis-à-vis implique que la porte de la loge faisait face aux murs de la Foire. L'affiche aurait donc pu désigner la loge la plus à l'ouest, celle que nous croyons être la Loge Blampignon.

D'autre part, nous touchons du doigt les très nombreux mouvements des entrepreneurs forains à la fin des années 1710. Alors que nous pouvions compter sur une certaine sédentarité des entreprises et troupes au tout début du XVIII^e^ siècle, celle-ci semble disparaître au profit d'entrepreneurs cherchant la rentabilité et louant au plus offrant. L'exemple des recherches d'un local par Saint Edme dans les années 1714-1718 est éloquent : pour obtenir un local, il doit avoir recours à une alliance, un procès, un arrangement avec un propriétaire… pour finir par abandonner en 1718[138].

Lorsque l'Opéra-Comique ouvre en 1725 pour la dernière fois dans le préau, les frères Parfaict ne mentionnent pas d'emplacement précis[139].

Les autres lieux de spectacles

Curieusement, alors que tous ces spectacles sont regroupés sous le nom de « spectacles de la Foire Saint-Germain »… aucun ne semble prendre place dans les bâtiments de la Foire eux-mêmes. Plusieurs causes expliquent ce phénomène. Premièrement, on l'a vu, les loges foraines sont des espaces extrêmement réduits, ne dépassant pas la dizaine de mètres carrés, dans lesquels la construction d'une salle de spectacle est impossible. Pour ce faire, il convient d'acheter de nombreuses loges et de les regrouper. Or, dans un quartier où les salles de jeu de paume sont monnaie courante et où le préau est un espace libre qui permet la construction de salles de spectacle, une telle entreprise semble peu rentable. Les grands théâtres, ceux à l'égard desquels la Comédie-Française ou l'Opéra ont le plus à craindre, sont ceux qui s'installent en dehors des bâtiments de la Foire où ils peuvent développer des spectacles et techniques plus impressionnants[140].

Parallèlement, des spectacles vivants persistent durant toute la période à la Foire, comme les danses de corde et les marionnettes, mais le peu d'études concernant les premiers et l'aspiration des seconds dans le répertoire de l'Opéra-Comique[141] viennent faire disparaître la visibilité de ces spectacles et des lieux où ils se jouaient. L'exemple d'Alexandre Bertrand est à ce titre éloquent : entrepreneur de marionnettes à succès au début du XVIII^e^ siècle, il tombe dans un relatif oubli à partir de 1717, alors même qu'il donne toujours des représentations à la Foire Saint-Germain[142], mais plus dans le jeu de paume des Victoires qu'il occupait précédemment puisque celui-ci était vraisemblablement occupé par son beau-fils Bienfait. En 1719, le jeu de Bertrand est spécifié comme étant « Dans l'enceinte de la Foire »[143], ce qui pourrait signifier qu'il était sous la charpente de la Foire, et non dans le préau. Où se produisait-il ? Il aurait tout à fait pu s'installer dans une boutique achetée à

138 *Ibid.*, p. 67-69.
139 Parfaict 1743, t. II, p. 27-28.
140 Martin 2002, p. 15.
141 Rizzoni 2010, p. 126.
142 Campardon 1877, t. I, p. 127.
143 Prou 2019a, p. 94.

l'intérieur de la Foire Saint-Germain en 1701, à l'angle de la Rue de Normandie et de la première rue de traverse[144]. Cette boutique, d'une largeur de vingt-sept pieds pour une longueur de deux travées (soit 27 pieds environs) était donc relativement grande (environ 9 m × 9 m) et aurait pu permettre l'installation d'un petit théâtre de marionnettes comme celui que nous modéliserons par la suite[145].

L'écrasante célébrité de l'Opéra-Comique : 1726-1762

À propos de la période qui s'ouvre en 1726 à la suite de la destruction du préau de la Foire Saint-Germain pour la construction d'un marché, Agnès Paul-Marcetteau écrit : « En fait la seule véritable entreprise de spectacles aux foires après 1720, c'est l'Opéra-Comique[146] ».

Or, Bienfait, Restier, Nicolet ou Audinot sont autant d'entrepreneurs qui ont su concevoir et conserver une place de choix dans l'environnement des spectacles forains, parallèlement à l'Opéra-Comique. À la manière de celui-ci, Nicolet et Audinot vont même réussir à se détacher des foires pour s'établir durablement à l'extérieur de leurs limites spatiales et temporelles. En revanche, il est évident que l'Opéra-Comique a focalisé l'essentiel de la production littéraire et historique… ce qui ne veut pas dire que l'on connaisse parfaitement les espaces qu'il a occupé, bien au contraire.

Les bâtiments de l'Opéra-Comique

Jeu de Paume de l'Étoile (1726-1734)

Lorsqu'en 1725 le préau est détruit, l'Opéra-Comique occupait une des loges du préau (que l'on n'a pu identifier). Il doit alors déménager pour la saison de 1726, dans un jeu de paume de la rue de Bussy (actuelle rue de Buci)[147] : le jeu de paume de l'Étoile[148]. Remarquons dès à présent une similarité évidente avec le jeu de paume de l'Étoile où s'installa la Comédie-Française en 1689[149] pour y rester jusqu'en 1770 et que l'on nomme Salle des Fossés Saint-Germain. En outre, la *Topographie Historique du Vieux Paris* ne contient aucune trace d'un jeu de paume de l'Étoile, mais révèle en revanche l'existence d'un jeu de paume de La Croix-Blanche (le même nom que le jeu de paume de Nivellon rue de Tournon en 1707) où s'était tenu de 1641 à 1645 L'Illustre Théâtre où Molière fit ses débuts[150]. Nous pensons que c'est à cet emplacement qu'aurait pu s'installer l'Opéra-Comique de 1726 à 1735.

À cet emplacement, l'Opéra-Comique est situé à 370 mètres à pied de l'entrée de la Foire Saint-Germain (par la rue de Bussy et la rue de Bissy), et à 200 mètres à pied de l'entrée de la Comédie-Française… c'est tout un symbole et le signe d'un

144 Barry Russell cite le document des Archives Nationales S. 2872. [En ligne : http://www.theatrales.uqam.ca/foires/1701.html].

145 Barry Russell cite également, sans en donner la source, l'acte de vente de ces même loges en 1784 à Restier, et nous voyons bien une boutique d'une surface couvrant trois loges appartenant à Restier sur les plans que nous possédons de la fin du XVIII[e] siècle.

Nous sommes en revanche surpris par les dimensions données dans le texte de l'acte de 1701 : les dimensions données ne correspondent pas à trois loges, mais à beaucoup plus. S'agit-il d'une erreur ou une partie des possessions de Bertrand avait-elle déjà été vendue lorsque la vente à Restier fut conclue en 1784 ?

146 Paul-Marcetteau 1983a, p. 82.

147 Parfaict 1743, t. II, p. 32-33.

148 Paul-Marcetteau 1983a, p. 216.

149 Jeffrey S. Ravel, « Salle de la rue des Fossés-Saint-Germain-des-Près, 1689-1770 » [en ligne : https://www.cfregisters.org/fr/espace-encyclopédique-old/salles-de-comédie/salle-de-la-rue-des-fossés-saint-germain-des-près] consulté en septembre 2020.

150 Berty 1876, p. 40.

La page Wikipedia de la rue de Buci place le jeu de paume de La Croix Blanche au 12 de la rue de Buci, une maison dont la devanture porte… une étoile !

Cette étoile daterait de 1732, date de l'installation de la loge maçonnique de Saint Thomas dans la rue de Bussy, alors qu'elle se réunissait précédemment dans la rue des Boucheries. Il n'y aurait donc aucun lien avec le jeu de paume de l'Étoile, installé dans cette rue plusieurs années auparavant. [En ligne : http://stthomasaulouisdargent.over-blog.com/2019/09/les-origines-de-la-loge-saint-thomas-au-louis-d-argent.html]

rapprochement qui ne passera pas inaperçu des auteurs forains[151]. La salle fut améliorée à deux reprises, en 1728 et en 1730[152], alors que l'Opéra-Comique était dirigé par Pontau. Celui-ci fit « pratiquer deux entrées, et en un mot ne négligea rien pour rendre le lieu commode, autant que sa situation le pouvait permettre »[153]. On ne sait si dans cet extrait, les frères Parfaict parlent de la situation de Pontau (dont on connaît la mauvaise réputation) ou celle de la salle de spectacle. Sans pouvoir trancher pour l'une ou l'autre des interprétations, la seconde nous paraît compréhensible dans la mesure où s'agissant d'un ancien jeu de paume, le théâtre devait effectivement paraître peu adapté aux standards architecturaux des années 1730. Toujours est-il que le bâtiment comprenait un foyer, très rare pour un théâtre non officiel, tandis que la billetterie du parterre et de l'amphithéâtre prenaient place dans la maison adjacente[154].

Salle de la rue de Seine (1734)

Curieusement, peu d'ouvrages abordent un événement assez court de l'Opéra-Comique : la construction d'une nouvelle salle par De Vienne en 1734. Cet événement est uniquement couvert par le *Dictionnaire des Théâtres de Paris* des frères Parfaict :

> Le peu de succès qu'il éprouva aux deux différentes Foire qu'il avait tenu son spectacle ne l'ayant point découragé, il tenta un nouvel établissement rue de Seine, vis-à-vis la rue des Marais, dans la maison de Liebaud, Maître Paumier. Obligé de quitter cette loge à moitié construite, il en fit bâtir à la hâte une autre rue de Bussy, mais qui ne fut achevée que le 27 février 1734[155].

La version des *Mémoires* des frères Parfaict diffère sensiblement :

> Le nouveau théâtre qu'on construisit cette année rue de Bussy n'ayant pu être prêt assez tôt, l'ouverte de l'Opéra-Comique en fut retardé jusqu'au 27 février[156].

Si l'emplacement du jeu construit rue de Seine est assez bien décrit, on a en réalité l'embarras du choix tant les jeux de paume sont abondants dans cette partie de la rue de Seine. Le premier et le plus important d'entre eux est le jeu de paume de la Bouteille, ou Théâtre Guénégaud, qui abritait la Comédie-Française à sa création en 1680 : si sa façade principale donnait bien sur la rue Mazarine, la façade arrière donnait sur la rue de Seine, quelques mètres au sud de la rue des Marais. Plus au nord, et donc en face de la rue des Marais, trois maisons au moins comportaient un jeu de paume, dont deux, les plus au sud, avec une enseigne particulière : Les trois Cygnes, les Aigles puis les Trois Canettes pour l'une et Le Soleil d'Or pour l'autre[157]. De Vienne a-t-il voulu s'implanter au même emplacement que la Comédie-Française, comme l'avait fait la Dame Baron avec la salle de l'Opéra et Pontau avec la salle de Molière ? Rien n'est moins sûr et il est probable que Parfaict aurait alors donné l'adresse du jeu rue Mazarine, ou explicitement cité le Théâtre Guénégaud.

Les raisons de l'échec de l'entreprise de De Vienne nous sont inconnues, mais la distance de cette nouvelle salle avec la Foire pourrait expliquer cet arrêt précipité. Cet emplacement est en effet à plus de 600 mètres à pied de l'enceinte de la Foire, une distance que l'on parcourt en 10 minutes… trop loin peut-être pour assurer le succès de l'Opéra-Comique ? De Vienne retourne *in extremis* dans la rue de Bussy,

151 Rizzoni 2010, p. 131.
152 Paul-Marcetteau 1983a, p. 216.
153 Parfaict 1743, t. II, p. 57.
154 Paul-Marcetteau 1983a, p. 217.
155 Parfaict 1756, VI, p. 214.
156 Parfaict 1743, t. II, p. 91.
157 Berty 1876, p. 249.

et 1734 est la dernière saison pendant laquelle l'Opéra-Comique occupe cet emplacement.

Salle du cul-de-sac des Quatre Vents (1735 - 1762)

Pontau, à nouveau directeur de l'Opéra-Comique après les déboires de De Vienne, fait construire une nouvelle salle sur un terrain loué rue des Boucheries et donnant sur le cul-de-sac des Quatre-Vents, « où il y avait de gros murs destinés à la construction d'un bâtiment »[158]. La grande différence avec les précédentes constructions foraines est que pour la première fois, il s'agit de la construction d'un bâtiment maçonné et non plus en charpente. Le contrat de construction est passé avec Guillaume Desjardin et la décoration est réalisée sous la conduite de Tonnelier[159]. Le nouveau bâtiment comprenait également un foyer, aménagé de banquettes en moquette cramoisie et d'une cheminée, tandis que la salle était chauffée de deux grand poêles[160]… une nécessité pour ces spectacles qui se tenaient en plein hiver.

Cinq parcelles de la rue des Boucheries permettent un accès à la rue des Quatre Vents, si bien que l'on ne peut savoir exactement où se tenait l'Opéra-Comique. Notre choix s'est porté de manière arbitraire sur une de ces parcelles. Malgré l'adresse rue des Boucheries, on accédait bien à l'Opéra-Comique par le cul-de-sac des Quatre Vents, comme le rappelle le *Dictionnaire Historique de la Ville de Paris* :

> Il fallait entrer par ce cul-de-sac, pour aller au spectacle de l'Opéra-Comique, avant sa réunion au Théâtre Italien en 1762. C'est pour cette raison qu'on l'appelait aussi cul-de-sac de l'Opéra-Comique[161].

Il est intéressant de constater que, alors même que l'Opéra-Comique est resté dans cette salle pendant 27 ans, ou 20 si l'on retranche les 7 années (de 1745 à 1752) pendant lesquelles il ne fut pas autorisé à donner des pièces d'opéra-comique[162], la documentation sur cette salle est très ténue. Dans tous les cas, l'Opéra-Comique jouant dans le cul-de-sac signe le retour dans un emplacement très proche de là où les premiers spectacles forains furent créés.

Autres jeux et emplacements

La document sur l'Opéra-Comique éclipse celle sur les autres spectacles forains, de telle sorte que l'on sait peu de choses sur les emplacements des autres spectacles liés à la Foire Saint-Germain pendant cette période.

On sait qu'en 1726, John Riner fit construire un théâtre dans un jeu de paume de la rue des Fossés-Monsieur-le-Prince[163] sans qu'on ait plus de précisions sur son emplacement précis. La rue étant particulièrement longue, et le nombre de jeux de paume important puisqu'on en recense pas moins de onze (Jeu de Paume Fesson, Jeu de Paume des Rabatus, Jeu de paume du Pavillon Royal, Jeu de paume de Monthaillard, Jeu de Paume de Beau-Regard, Jeu de Paume de Bel-Ébat, Jeu de Paume de la Cité de Jérusalem, Jeu de Paume de Plaisance, Jeu de Paume de la Queue de Renard, Jeu de la Paume de la Chiche Face et Jeu de Paume de la Salamandre[164]), il ne nous est pas possible d'en préciser la position.

Les marchands se sont inquiétés, dès la disparition du préau, de l'éloignement des spectacles de leur activité. En effet, les spectateurs venant assister aux spectacles étaient autant de clients potentiels des marchands de la Foire Saint-Germain (une affirmation qu'il convient pourtant de modérer quand on sait l'éloignement réel de

158 Paul-Marcetteau 1983a, p. 217, citant A. N. AJ XIII 3.
159 *Ibid.*, p. 217.
160 *Ibid.*, p. 217 et note 53.
161 Hurtaut 1779 : *Dictionnaire Histoire de la ville de Paris et de ses environs.*
162 Pauline Beaucé rappelle qu'on y jouait des pièces en pantomime pendant l'interdiction.
163 Lagrave 1972, p. 99.
164 Berty 1876, p. 229-235.

nombreux spectacles dès le début du XVIIIe siècle ; seule une partie d'entre eux était en effet placée dans le préau). Les syndics de propriétaires firent donc élever une salle de spectacle, à leurs frais, dans l'enceinte de la Foire Saint-Germain. Les frères Parfaict citent la plainte des propriétaires qui :

> […] ont la douleur depuis quelques années de voir cette portion de leur subsistance diminuer à chaque Foire, ce qui les a obligés à convoquer une assemblée de tous les propriétaires, pour aviser aux moyens de remettre leur loge en quelque valeur, et ils ont cru que le seul expédient, pour prévenir leur ruine totale, était de faire construire une salle de théâtre, dans l'enceinte et sous le couvert de la Foire, ce qui procurera l'agrément et la commodité du public, qui depuis quelques années est obligé d'aller de ladite Foire à des rues éloignées pour assister aux spectacles qui en dépendent ; ainsi les marchands pourront trouver dans la fréquentation de la foire devenue pour lors un lieu de spectacle et de promenade tout ensemble le débit certain de leurs marchandises, et les propriétaires rentreront par-là dans la jouissance d'un revenu […][165].

La salle est donc construite entre les deux halles de la Foire Saint-Germain, probablement au-dessus d'une des quatre cours qui abritent les sanitaires. Faute d'avoir accès à la délibération du 25 novembre 1730 qui fixe l'emplacement précis de cette salle, on ne sait pas où exactement dans la Foire cette salle était placée. Bien qu'elle soit désignée comme une « salle de théâtre », il semble qu'on n'y donna que des spectacles de danse de corde, depuis l'installation de Restier et Lavigne en 1735 jusqu'à sa disparition avec le reste de la Foire en 1762[166].

Les rapports qui suivent l'incendie de 1762 permettent également de nous renseigner sur les spectacles qui étaient donnés à la Foire Saint-Germain en mars de cette année. En effet, il est dit que l'incendie de la Foire part de la loge de Nicolet ou d'une loge voisine[167] : le marionnettiste avait donc bien une loge sous la charpente de la Foire à cette époque. Il semble qu'il occupait un jeu de marionnettes à la Foire Saint-Germain depuis 1753[168], sans que l'on connaisse son emplacement précis[169]. De même, Bienfait (Nicolas II) était présent dans la Foire à la veille de l'incendie[170]. Nicolas Bienfait aurait pu s'y installer dès la destruction du préau, à partir de 1726 donc, et laisser son emplacement à son fils[171] Nicolas II Bienfait à sa mort en 1744 ou 1745[172].

Les spectacles après l'incendie : 1763-1791

Si l'on en croit Isabelle Martin, il ne se passe plus rien à la Foire Saint-Germain après l'incendie de 1762 : « La foire Saint-Germain disparaît à peu près à l'époque du nouvel engouement parisien pour les boulevards. Les bâtiments brûlent en 1762[173] ».

Il s'agit selon nous d'une erreur due, une fois de plus, à plusieurs facteurs qui sont symptomatiques de l'intérêt principal porté à l'Opéra-Comique. En effet, 1762

165 Parfaict 1743, t. II, p. 65-68.
166 Paul-Marcetteau 1983a, p. 221.
167 Martin 2002, p. 26.
168 Campardon 1877, t. II, p. 151.
169 Paul-Marcetteau 1983a, p. 221 a obtenu des informations précises sur la dimension des loges de Nicolet et de Bienfait au moment de l'incendie d'une référence que nous n'avons pu consulter :

Cherrière, *La lutte contre l'incendie dans Les Halles, les marchés et les foires de Paris sous l'Ancien Régime*.

D'après ces données, la salle de spectacle de Nicolet couvrait onze loges (environ 100 mètres carrés) tandis que celle de Bienfait couvrait neuf loges et demie (soit environ 85 mètres carré). Leur emplacement n'est malheureusement pas précisé dans la Thèse de Agnès Paul-Marcetteau.
170 Paul-Marcetteau 1983a, p. 221.
171 Campardon 1877, t. I, 149.
172 *Ibid.*, t. I, 147.
173 Martin 2002, p. 26.

Nous avons corrigé dans cette citation la date de l'incendie, qui a eu lieu en 1762 en non en 1761. Isabelle Martin introduit par cette phrase la citation du Journal de Favart qui évoque par erreur l'incendie de la Foire en décembre 1761.

marque la réunion de l'Opéra-Comique à la Comédie-Italienne, qui quitte ainsi définitivement le giron des foires parisiennes. Il ne reste ainsi aux foires que les spectacles qui étaient précédemment vus comme mineurs : marionnettes ou danses de corde. La situation à la fin des années 1760 est plus complexe puisqu'Audinot fait jouer des spectacles liant marionnettes et acteurs… l'histoire semble donc se répéter et l'on voit réapparaître près d'un siècle plus tard, le destin d'un Alexandre Bertrand qui trouva le succès en liant à ses marionnettes des acteurs de chair et d'os.

Parallèlement, alors qu'il paraît inconcevable d'imaginer que la Foire Saint-Germain ait pu renaître du terrible incendie qui détruisit l'ensemble des deux halles et leur charpente pluri-centenaire, nous avons vu que dès 1763 la Foire est pourtant de nouveau active, avec de nouvelles constructions et des spectacles. Elle le restera au moins jusqu'en 1811, date à laquelle Restier possède toujours des loges à la Foire Saint-Germain[174].

Les salles d'Audinot à la Foire

Les différentes salles d'Audinot à la Foire Saint-Germain font l'objet de projets que nous décrivons plus loin. Audinot apparaît à la Foire Saint-Germain en 1769 pour un spectacle de marionnettes qu'il donne dans une salle qu'il a fait construire pour l'occasion[175], peut-être dans la halle à la filasse, perpendiculaire aux anciens murs de la Foire. Audinot tient un spectacle à la Foire Saint-Germain jusqu'en 1787 au moins[176]. Le spectacle d'Audinot était-il encore actif à la veille de la Révolution Française ? Pas si l'on en croit la pièce *L'Union Fraternelle*, donnée au Théâtre de l'Ambigu-Comique (donc sur les Boulevards) pendant la Foire Saint-Germain, le 14 février 1789[177]. Précédemment en effet, la troupe de l'Ambigu-Comique se déplaçait des Boulevards vers la Foire pendant la période de celle-ci et il semble qu'en 1789, Audinot ne se donnait plus cette peine.

On ne sait pas grand chose de l'évolution de la salle d'Audinot de 1769 à 1789, mais il est probable que celle-ci ait subi des évolutions et agrandissements. En effet, dès 1769 on se plaint de la petitesse de la salle :

> La fureur du public pour courir chez Audinot […] ne fait qu'augmenter. Malheureusement la loge ne peut guère contenir plus de 400 personnes, et la modicité des places dont les plus chères sont à 24 sols, met tout le monde à porter de se régaler de cette foire[178].

Dès lors, on comprend mieux l'existence de plusieurs projets dessinées par l'architecte Cellerier pour Audinot. L'un d'entre eux, dont on suit l'évolution sur plusieurs années jusqu'en 1772, aurait pu faire l'objet d'une réalisation sans toutefois qu'aucun document ne vienne appuyer cette hypothèse jusqu'à présent.

La salle de Nicolet ou « salle Restier »

Cette salle est la seule dont on connaisse avec précision l'emplacement dans les anciennes halles de la Foire Saint-Germain. Elle était en effet placée dans l'angle nord-est de la Foire, au-dessus de l'angle entre la rue de Normandie et la première traverse. Cette position est visible non seulement sur les plans de la Foire Saint-Germain que nous possédons pour cette période, mais également sur les plans de Paris où l'on voit clairement qu'un îlot plus gros s'est formé dans l'angle nord-est de la Foire, notamment sur le plan de Verniquet en 1790 (*Fig. 62*). Le plan d'attribution

174 Nous tenons cette information d'un registre d'attribution des loges de la Foire Saint-Germain, conservant les adresses des propriétaires des loges et sur lequel figurent différents indices permettant de le dater de 1811 au plus tôt. Registre conservé à la BHVP, CP 4851 fol. 20.
175 Faul 2013, p. 36.
176 *Ibid.*, p. 98.
177 *Ibid.*, p. 107.
178 *Ibid.*, p. 37-38.

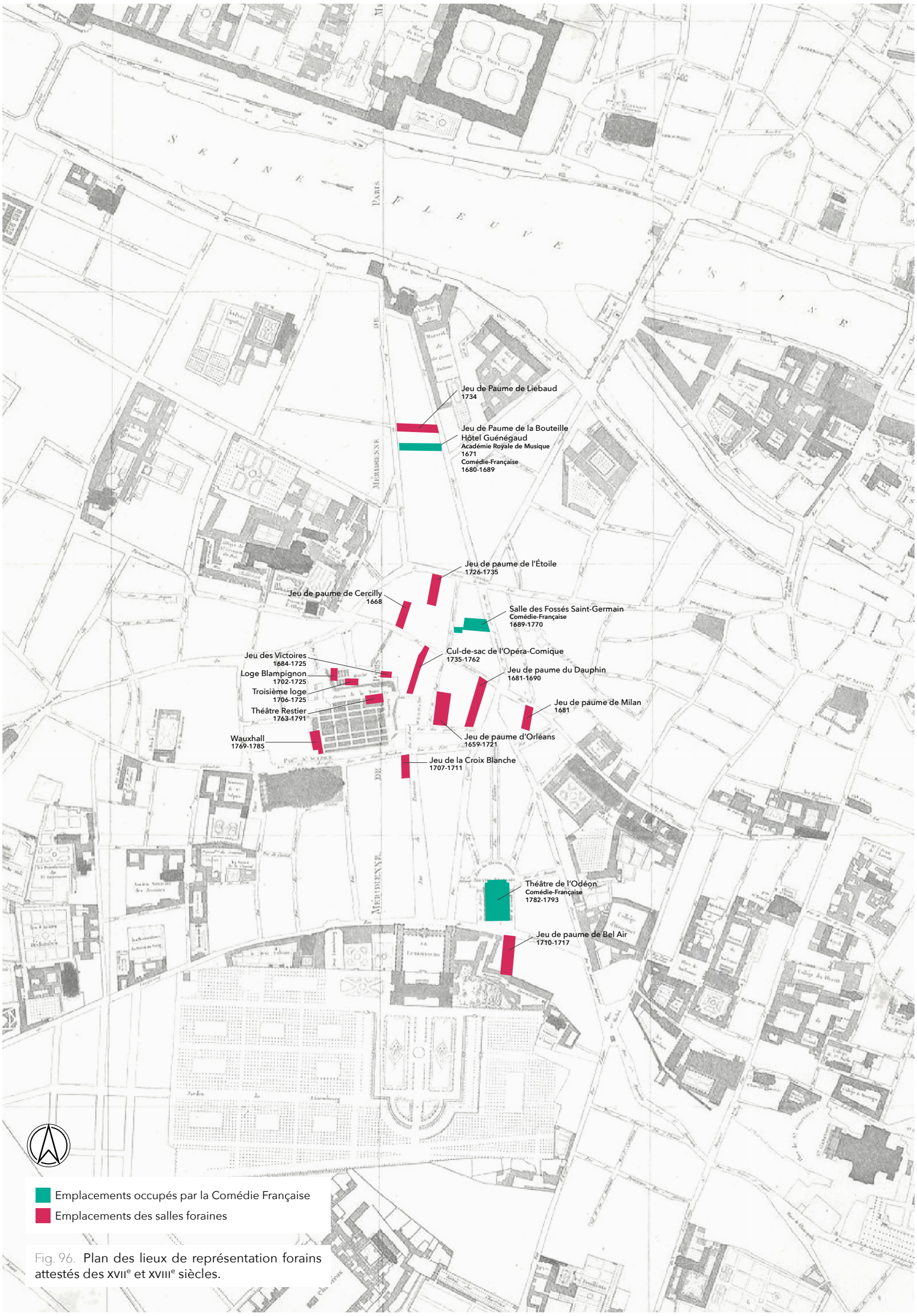


Fig. 96. Plan des lieux de représentation forains attestés des XVII^e^ et XVIII^e^ siècles.

des loges explicite d'ailleurs clairement qu'une des portes de la foire est « condamnée par le Théâtre Restier » (*Fig. 74*).

Ceci est d'autant plus surprenant que ces plans datent d'après 1784 (on y voit que les loges faisant l'angle entre la rue de Normandie et de la première traverse sont attribuée à Restier, donc après la vente de celles-ci en 1784 par les Bertrand, à supposer qu'il s'agisse bien des mêmes loges[179]) et à cette date, on ne connaît aucun Restier qui soit encore entrepreneur de spectacles. Restier I était mort en 1740[180], et Restier II semble disparaître après 1762[181]… les autres membres de la famille Restier ne sont pas connus pour avoir été entrepreneurs de spectacles. Le nom de Restier apparaît pourtant sur de nombreuses loges du plan d'attribution des loges foraines.

L'acte de vente de 1784 stipule en revanche que l'emplacement est situé sous le « théâtre de Nicolet », ce qui reviendrait à assimiler le « Théâtre de Restier » à la salle du spectacle des Grands Danseurs du Roi, nom que prit la troupe de Nicolet à partir de 1772[182]. Le spectacle est également intitulé « Spectacle des Grands Danseurs de Corde » dans l'Almanach Forain de 1773[183]. Nicolet continue de jouer des spectacles bien après la loi de 1791, mais il est possible que comme Audinot, il ait déjà abandonné la Foire vers 1789 pour se concentrer sur le Boulevard du Temple où il possédait une grande salle de spectacle.

Que sait-on de la salle Restier ? Pas grand chose, si ce n'est que ses dimensions sont très importantes, avec une vingtaine de mètres de large pour une longueur de près de quarante mètres. Quant à son nom, elle vient peut-être du souvenir des Restier qui occupèrent la salle construite entre les deux halles de la Foire avant son incendie, et qui était elle aussi à l'étage ? Cette dénomination trahit peut-être plus simplement l'appartenance de cette salle à la famille Restier sans qu'elle n'exerce un quelconque contrôle artistique.

Wauxhall de la Foire Saint-Germain

Les wauxhall sont des lieux de spectacle hybride où l'on donne aussi bien des loteries que des bals et des concerts[184]. Si des spectacles avaient lieu dans ces endroits, il s'agissait donc principalement de musique et non de représentations théâtrales. Le wauxhall de la Foire Saint-Germain a ouvert en 1769 et est resté à cet emplacement jusqu'en 1785, date à laquelle le wauxhall se déplace près du Palais Royal[185]. Administré par Louis-Clair Maurin, puis par Nicolas de Lasalle, le wauxhall est un édifice bien connu de la Foire puisque l'on peut le placer avec précision sur les plans et qu'il existe même des représentations intérieures de son architecture imaginée par Lenoir (*Fig. 97*).

L'ensemble, de grande dimension abritait une salle de bal ovale qui formait le cœur de la construction. Autour de cette salle de bal, différents salons à thème proposaient autant d'ambiances différentes.

Autres salles et emplacements

L'Almanach Forain de 1773 nous apprend que d'autres spectacles se jouaient encore à la Foire Saint-Germain à cette époque : Nicolet cadet y tenait un spectacle de marionnettes, tout comme Bienfait[186]. On sait de François-Paul Nicolet qu'il s'ins-

179 Nous avons déjà exprimé nos doutes sur ces attributions, puisque nous n'avons pas pu consulter l'archive citée par Barry Russell sur la vente des loges en 1784.
180 Campardon 1877, t. II, p. 306.
181 *Ibid.*, t. II, p. 307.
182 *Ibid.*, t. II, p. 151.
183 Jean-François Arnould, Pierre-Jean-Baptiste Nougaret, 1773 : *Almanach forain ou les Différents spectacles des Boulevards et des Foires de Paris.*
184 Beaucé et Triolaire 2017.
185 Campardon 1877, t. II, p. 472.
186 Jean-François Arnould, Pierre-Jean-Baptiste Nougaret, 1773, *op. cit.*

Fig. 97. Vue de l'intérieur du Wauxhall de la Foire Saint-Germain. Source : Gallica, ark: 12148/btv1b8409864j

talla à la Foire Saint-Germain pour y donner des spectacles de marionnettes « peu de temps après 1766 »[187] et peut-être jusqu'en 1777.

Quant à Bienfait, il s'agit de Nicolas III Bienfait, le petit fils du premier, et cette mention dans *L'Almanach Forain* est la seule que l'on ait à son sujet[188]… on ne sait donc s'il avait des spectacles avant ou après cette date et on connaît encore moins l'emplacement de la salle qu'il occupait.

Genres des spectacles forains et contraintes architecturales

Quels sont les types de spectacles que l'on peut voir à la Foire au XVIII[e] siècle ? À côté des montreurs d'animaux ou d'automates qui existaient à la Foire Saint-Germain depuis le XVII[e] siècle, plusieurs groupes cohabitent :

— les sauteurs, danseurs de corde, voltigeurs et pantomimes ;
— les jeux de marionnettes ;
— les représentations de théâtre d'acteurs.

Avant même d'aller plus loin, il est nécessaire de s'interroger sur la hiérarchie culturelle[189], qui est à l'œuvre dans l'évaluation de ces spectacles. Pour quelles raisons considère-t-on les sauteurs de corde comme culturellement plus importants qu'un montreur d'automate ? La hiérarchie culturelle ici est la même qui rend implicitement inférieurs les spectacles des sauteurs et les jeux de marionnettes par rapport à l'opéra-comique. Sans chercher à justifier cette hiérarchie, dont certains auteurs comme Campardon ont tenté de s'extirper en traitant avec exhaustivité tous les spectacles forains, nous pouvons essayer d'appliquer d'autres critères pour retrouver cette distinction entre les trois groupes ci-dessus et le reste des spectacles. Pour nous,

187 Campardon 1877, t. II, p. 164.
188 *Ibid.*, t. I, p. 150.
189 Nous reprenons ici une thématique chère à Françoise Rubellin, qui s'applique parfaitement aux spectacles forains dans leur entièreté.

Fig. 98. Miniature de Louis-Nicolas Van Blarenberghe montrant un spectacle de danse de corde. (Photo : MET Musem, New-York)

il s'agit avant tout d'un critère d'importance spatiale qui est loin d'être anodin dans la Foire Saint-Germain.

Si un montreur d'animal ou d'automate peut en effet se satisfaire de la surface d'une simple loge de la Foire, il en va tout autrement pour les sauteurs, marionnettistes et acteurs. Pour eux, l'espace dédié à la représentation suffisamment large pour permettre de se mouvoir ou d'installer un matériel et des machineries parfois très imposantes. Les montreurs en tous genres avaient-ils une importance moindre dans le paysage « spectaculaire » de la Foire Saint-Germain ? Non, bien au contraire, par leur ouverture sur l'espace public que l'on devine, ils devaient participer à l'animation foraine, à la manière des parades données devant les salles de spectacle.

Pour chacun des trois groupes identifiés ci-dessus, nous allons chercher à établir succinctement les besoins matériels associés aux représentations.

Sauteurs, danseurs de corde, voltigeurs et pantomimes

Le nom de ce groupe explicite l'objet du spectacle : le corps en mouvement. Dès la fin du XVIIe siècle, on sait que l'on ne faisait pas que du funambulisme dans les spectacles de danse de corde, et les spectacles d'Alard sont ainsi rapidement liés à quelques scènes. C'est à Alard que l'on doit, selon les frères Parfaict, le premier spectacle théâtral de la Foire, les *Forces de l'Amour et de la magie* en 1678.

Les représentations de la danse de corde nous aident à mieux comprendre les exigences spatiales et scéniques attachées à ce type de spectacle. Nous pouvons nous appuyer sur une miniature de Louis-Nicolas van Blarenberghe montrant un spectacle de danse de corde au XVIIIe siècle (*Fig. 98*). Cette miniature est montée sur une boîte de Blerzy, conservée au Metropolitan Museum de New-York[190]. La scène

190 MET Museum, 17.190.1130.

Nous reviendrons par la suite sur cette boîte et sur l'autre miniature qu'elle contient, montrant l'intérieur d'un spectacle de marionnettes.

représente un numéro d'acrobaties à la corde lâche effectué au-dessus du parterre, où les spectateurs s'écartent pour permettre aux funambules d'évoluer. Sur la scène, parfaitement visible, une structure a été montée avec une corde raide tendue entre deux supports composés de morceaux de bois disposés en croix. Une échelle permet d'accéder à cette corde raide dont la tension semble être maintenue par deux cordes que l'on devine solidement ancrées au sol. Si l'on s'intéresse à la morphologie de l'espace dans lequel l'action prend place, la salle apparaît rapidement comme ayant des dimensions importantes. C'est le résultat du procédé de représentation de Blarenberghe qui propose ici un point de vue impossible, à la manière d'une maison de poupée dont plusieurs murs auraient été ôtés. Les loges côté cour ne sont pas représentées mais elles auraient probablement obstrué complètement la vue d'un spectateur situé au même endroit que le peintre, si bien que le théâtre apparaît dans cette vue bien plus large qu'il ne devait l'être. Le cadre de scène, représenté sommairement et décoré comme le reste de feuillages dorés sur un fond bleu, laisse apparaître une vaste scène dotée de six châssis et d'un lointain. Le parterre lui-même est séparé du parquet et de l'orchestre par une barrière de bois et des spectateurs assis dans le parquet sont retournés pour profiter du spectacle en cours. Cet espace est dépourvu d'assises fixes, si bien que plusieurs nobles ont une chaise pour s'asseoir et qu'un banc est représenté au premier plan à droite, pour permettre à une femme noble dans son imposante robe de s'installer confortablement.

Si la salle représentée semble dévolue à un spectacle de théâtre qui se tiendrait sur scène, après la fin du spectacle de danse de corde, on voit clairement ici les équipements requis pour effectuer de la danse de corde et la place qu'ils demandent. Dès lors, on comprend que la pratique de la danse de corde ait nécessité des salles spécifiques tout au long de l'histoire de la Foire. Il semble en revanche que l'organisation du spectacle pourrait accepter une scène centrale avec des gradins tout autour : la pratique du funambulisme n'implique par une disposition particulière du public. À la Foire Saint-Germain cependant, la pratique de la danse de corde est souvent accompagnée de comédies et elle a perduré jusqu'à la fin du XVIII^e siècle. Nicolet était ainsi « Grand Danseur du Roi », alors que l'on sait qu'il jouait des opéras-comiques et des pièces de la Comédie-Italienne[191] ; la *Galerie Historique des Comédiens de la Troupe de Nicolet*, en plus de compter de nombreux danseurs de corde, précise que Nicolet :

> […] fit représenter de petites pièces appartenant au répertoire de l'ancien Théâtre Italien et de l'Opéra-Comique, ainsi que d'autres, composées exprès pour lui par Taconet, Delautel et quelques autres, aujourd'hui parfaitement ignorés, sans préjudice des pantomimes à spectacle et des parades qui avaient lieu à l'extérieur[192].

En effet, en février 1779 c'est bien Pol, dit Petit-Diable, acrobate et danseur de corde, que l'on vient observer au spectacle de Nicolet à la Foire Saint-Germain. Le programme du 11 février annonce des « grands sauts périlleux entre le Petit-Diable et le sieur Dupuis, les doubles rondades, l'équilibre de la chaise, la danse du panier, le saut de la baguette et du chapeau et de grandes variations dans la danse de corde »[193].

Marionnettes

Les marionnettes sont présentes à la Foire depuis le XVII^e siècle et sont représentées au cours du XVIII^e par plusieurs entrepreneurs forains : entre autres, Alexandre Bertrand, Nicolas Bienfait, Jean-Baptiste Nicolet et Nicolas-Médard Audinot. Il

191 Campardon 1877, t. II, p. 151.
192 Manne et Ménétrier 1869, p. 3.
193 *Ibid.*, p. 17.

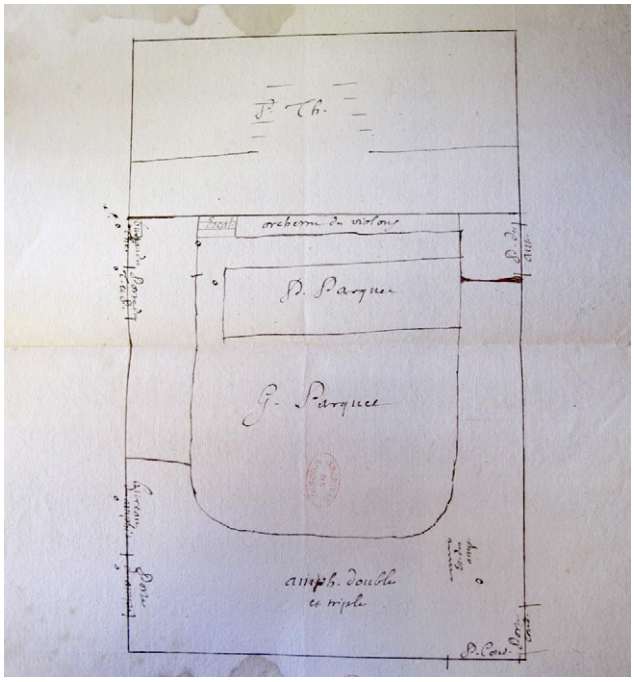


Fig. 99. Plan de la main de Fuzelier montrant l'intérieur d'un théâtre de marionnettes. Document communiqué par Françoise Rubellin.

s'agit de marionnettes à tringle qui nécessitent des installations techniques et scéniques particulières.

Agnès Paul-Marcetteau a mis en évidence plusieurs archives qui permettent de se faire une bonne idée du type d'installation qui prenait place dans la loge d'un entrepreneur de spectacle de marionnettes. Les décorations de la scène sont décrites dans cette commande :

> Quatre décorations de théâtre qui changeront à la vue : savoir un palais, un jardin, une salle des plus belles et un bois, lesquelles quatre décorations seront des plus riches qui se peuvent faire, et le palais relevé en or faux, et faire une grande gloire qui représentera le festin des dieux, et quatre chars tous différents, fournir les coulisses qui supporteront les autres, et peindre le ciel, et fournir châssis et faux châssis de sept pieds de hauteur et un pied et demi de large, lesquelles décorations auront dix châssis de chaque côté de bois de sapin […][194].

La scène peut donc accueillir des décorations dont la dimension est relativement importante (les châssis font deux mètres de haut), mais surtout le mécanisme de changement de décoration est suffisamment perfectionné pour permettre un changement de décor à vue.

Une autre archive, en 1681, définit une partie des assises des spectateurs :

> Il sera fait un plancher de bois… avec deux cloisons, entre les deux cloisons du milieu sera fait des bancs autant qu'il s'en pourra faire et le parterre sera de huit pieds de large le tout de bois, et sera mis entre le théâtre et la première cloison trois rangs de chaises de paille […][195].

On comprend donc qu'à l'avant de la scène où jouent les marionnettes, on installe un parquet fait de trois rangs de dix chaises, puis derrière ce parquet séparé d'une cloison de faible hauteur, le parterre (avec des bancs), dont la largeur n'est que de deux mètres cinquante. Une largeur qui nous paraît très faible compte tenu du nombre de chaises que le demandeur comptait y installer : une dizaine sur la

194 Paul-Marcetteau 1983a, p. 207-208, citant A. N. Minutier Central, LXIX, 86 – 17 septembre 1676.
195 *Ibid.*, p. 208, citant A. N. Minutier Central, LVIII, 146 – 28 septembre 1681.

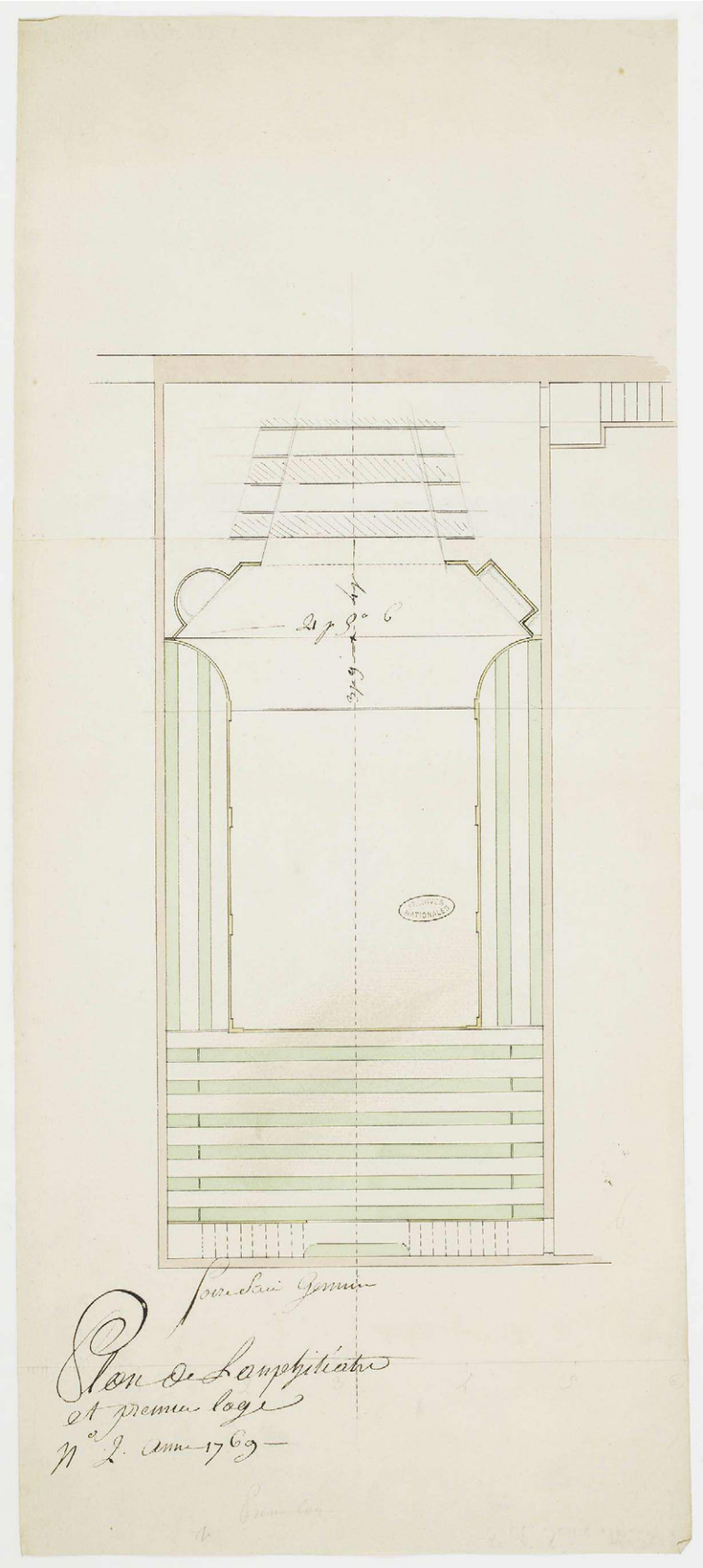


Fig. 100. **Plan d'une salle de spectacle de marionnettes, pour Audinot à la Foire Saint-Germain en 1769. Archives Nationales : N/III/Seine/259/5.**

largeur… soit des chaises de 25 cm de large. Peut-être désignait-il la profondeur du parterre plutôt que sa largeur.

En février 1722, année de fortes contraintes, un spectacle de marionnettes d'un nouveau genre connaît un succès retentissant : *Pierrot Romulus*, précédé d'un prologue, *L'Ombre du cocher poète*, par Fuzelier, Le Sage et d'Orneval. Il s'agit d'intégrer chant et musique dans les pièces, comme dans l'opéra-comique alors interdit. Comme l'explique F. Rubellin, « À partir de là vont se développer aux marionnettes des opéras-comiques : certains ont des intrigues de comédies, d'autres sont des parodies, de tragédie ou d'opéra »[196] ; un répertoire nouveau, en cours d'édition, voit le jour[197]. Des documents d'archives, analysés par B. Porot, permettent de voir le plan de ce théâtre de marionnettes en 1722 (*Fig. 99*), de la main de Fuzelier, le salaire des différents employés, le coût des décors etc[198].

Les plans de la salle de spectacle conçue pour Audinot à la Foire Saint-Germain en 1769[199] nous renseignent également sur les dimensions et les aménagement de ce type de spectacle (*Fig. 100*). La salle, d'une largeur de 7,5 m pour une profondeur de 15 m, est équipée de trois ponts permettant la manipulation de marionnettes au-dessus de la scène. Ces ponts définissent quatre plans de châssis latéraux et un lointain. La précision du plan ne permet pas de juger de la présence ou non de mécanismes autorisant un changement de décor à vue.

La pratique de la marionnette foraine implique souvent l'échange avec des acteurs en chair et en os. Le Compère, personnage joué par un acteur réel, apparaît dans certaines pièces et fait l'intermédiaire entre le public et les marionnettes : on le voit notamment sur une miniature de Louis-Nicolas van Blarenberghe que nous étudierons en détail dans la suite de ce chapitre. Cette caractéristique est en revanche absente de nombreuses productions[200].

Représentations de théâtre d'acteurs

Outre les danseurs de cordes et les marionnettes, qui nécessitent un aménagement spécifique, les spectacles de la Foire offrent des pièces de théâtre extrêmement variées. Citons F. Rubellin :

> Quoi de commun entre une pièce par écriteaux, dans laquelle le public est invité à chanter à la place des acteurs, une pièce en monologue – avec de nombreuses astuces pour contourner l'interdiction de dialoguer –, une pièce en jargon, en pantomime, en opéra-comique, en marionnettes ? Comment écraser sous un seul vocable un répertoire dramatique constitué de prologues, de pièces à tiroirs, de parodies, de comédies d'intrigue, de pastorales, etc. ?[201]

Nous envisagerons à présent les dispositifs scéniques et architecturaux requis par les parades, les pièces par écriteaux et l'opéra-comique.

196 Rubellin 2017.
197 Plusieurs parodies d'opéras pour marionnettes sont éditées par F. Rubellin dans *Atys burlesque* (*La Grand-mère amoureuse*, Fuzelier et d'Orneval, *Atys travesti*, Carolet) [Rubellin 2011], par F. Rubellin (*Pyrame et Thisbé*, anonyme) et P. Beaucé (*Le Quiproquo*, Valois d'Orville) dans *Pyrame et Thisbé, un opéra au miroir de ses parodies* [Rubellin 2007]. Une anthologie par F. Rubellin d'une vingtaine de pièces pour marionnettes est à paraître aux Éditions Espaces 34.
198 Porot 2015a.
199 A.N. N/III/Seine/259/7.
200 Rubellin 2020c.
201 Rubellin 2018, p. 209.

Les parades

« L'histoire des parades est indissociable de celle de la Foire[202] » écrit Jennifer Ruimi. Pour les théâtres ou les lieux de spectacle, la parade consiste en un court divertissement joué en extérieur sur un « balcon très étroit et le plus long qu'il leur était possible »[203] : une représentation d'une telle parade, dans la Foire Saint-Germain, est visible sur la miniature représentant l'intérieur de cette foire par Van Blarenberghe.

Agnès Paul-Marcetteau nous apprend que :

> Les autorités s'y opposent parce qu'ils embarassent la voie et provoquent des attroupements qui pourraient dégénérer en bousculades. La répétition même des interdictions prouve leur inefficacité. D'ailleurs l'architecture des loges était conçue en fonction de cette habitude. Il en est question dès 1679, lors de l'association de Jean Bertrand et Pierre Gellard « pour l'exercice de leur art pendant le temps de la Foire Saint-Laurent ». Gellard fournira « le bois… pour faire la parade de la porte ». Il devait s'agir d'une estrade qui permettait « aux joueurs de marionnettes… d'exposer les tableaux et autres décorations extérieures dont ils se servent pour attirer les spectateurs. » De même dans un marché pour la construction d'un théâtre du 28 septembre 1681, on prévoit qu'il « sera fait une parade au dehors de la rue en cas qu'on la veuille permettre. »[204]

Les parades servent à attirer les spectateurs qui sont ensuite invités à payer pour rentrer dans le théâtre. L'usage de la parade par l'Opéra-Comique est incertain : inusitée pour Agnès Paul-Marcetteau[205], elle fait pourtant l'objet de certaines utilisations pour Isabelle Martin[206]. Il est probable que dans un souci de ressembler aux théâtres officiels de Paris, à partir des années 1720, la parade fut dépréciée à l'Opéra-Comique ce qui n'interdisait pas à d'autres spectacles de l'utiliser à la Foire. La parade n'a également de sens que si elle est jouée en face d'un public nombreux, dans le but de l'attirer : lorsque les spectacles se tenaient dans le préau de la Foire ou dans la Foire elle-même, le public (à savoir les clients des marchands forains) était présent. En revanche, lorsqu'à la suite de la destruction du préau en 1725 l'Opéra-Comique s'est installé dans des rues plus lointaines, il est possible que l'affluence réduite ait limité *de facto* l'efficacité d'un tel dispositif.

Les écriteaux

Les pièces par écriteaux viennent de l'interdiction faite aux spectacles forains, par la Comédie-Française, d'user de parole sur scène[207]. L'idée consiste alors à faire lire au public les paroles à réciter ou à chanter sur un air connu (le vaudeville). Si les premières tentatives en 1711 imposaient aux acteurs de montrer eux-mêmes le texte inscrit sur un rouleau à mesure que se déroulait l'action. En 1712, des pancartes étaient descendues au-dessus de la scène depuis le cintre. Chaque toile sur laquelle étaient imprimés les couplets à chanter « avait, au côté qui tombait vers le théâtre, une gorge ou bâton qui l'assujettissait de façon qu'elle était toujours étendue. Cet expédient mettait les spectateurs en état de lire plus à leur aise, et rendait aux acteurs la faculté de faire des jeux de théâtre pour exprimer le sens du couplet[208] ».

Nous possédons quelques représentations, sous forme de gravure, de ce système, dans *Le Théâtre de la Foire ou l'Opéra-Comique* de Le Sage et D'Orneval (*Fig. 101*). Les représentations montrent parfaitement comment deux anges, probablement

202 Ruimi 2015, p. 37. Sur la parade foraine, voir notamment p. 37-41.

203 Extrait de « Lettre à Madame *** sur Les Parades », dans *Théâtre du XVIIIe siècle, textes choisis établis, présentés et annotés* par J. Truchet, Paris, 1972.

204 Paul-Marcetteau 1983a, p. 225-226.

205 *Ibid.*, p. 230.

206 Martin 2002, p. 158.

207 Sur les pièces par écriteaux, voir le livre de Paola Martinuzzi (*Le "pièces par écriteaux" nel teatro della Foire (1710-1715). Modi di una teatralità*) [Martinuzzi 2007] et l'article de Pauline Beaucé (« Jouer le double jeu : pièces par écriteaux et autoparodies théâtrales au XVIIIe siècle en France ») [Beaucé 2017].

208 Martin 2002, p. 164-165, citant Parfaict et Godin d'Abguerbe 1756.

Fig. 101. Gravure montrant les écriteaux, extraite de *Le Théâtre de la Foire ou l'Opéra-Comique*.

de bois ou de stuc, soutenaient les toiles sur lesquelles étaient inscrites le nom du personnage et sa réplique chantée, ainsi que le bâton permettant d'assurer que la toile reste tendue. Cependant, les sources écrites évoquent deux enfants habillés en amours suspendus au-dessus de la scène par le moyen de contrepoids[209].

Si ce sur-titrage avant l'heure paraît évident et simple à mettre en œuvre, Isabelle Martin met en évidence la présence d'illettrés dans le public nécessitant la présence dans le public de personnes lisant à haute voix, avant que les paroles chantées ne soient la norme[210]. En plus de cela, cela implique la présence pendant toute la représentation d'une personne chargée de positionner les écriteaux à mesure que la pièce avance depuis le cintre. Surtout, cela impose que l'éclairage soit suffisament puissant pour permettre au public, placé loin, de lire. La dimension minimale des lettres, le contraste, la vitesse avec laquelle on pouvait passer d'un écriteau à l'autre sont autant de paramètres qui ont dû faire l'objet d'une étude lors de la mise en œuvre de ce système de 1711 à 1712. Ces paramètres donnent également une indication sur la hauteur du cadre de scène qui devait permettre de visualiser ces panneaux, de taille non négligeable, au-dessus des acteurs et non devant ceux-ci.

L'opéra-comique

L'opéra-comique (sans majuscules) est un genre né de la rivalité des théâtres et des procès incessants intentés par la Comédie-Française, jalouse de son monopole, aux théâtres de la Foire. En 1698, puis en 1708 et enfin en 1714, des entrepreneurs négocient avec l'Académie royale de musique pour avoir le droit d'utiliser chant, musique et danse[211]. Dès 1715, les troupes qui ont acheté le privilège à l'Opéra

209 Le Sage et D'Orneval, 1721.
210 *Ibid.*, p. 165.
211 En 1698, Jeanne Godefroy (la veuve Maurice) traite avec Francine, directeur de l'Opéra. « Elle inaugure ainsi la

prennent le nom d'Opéra-Comique (avec majuscules). Les premiers opéras-comiques sont constitués uniquement de vaudevilles (couplets chantés sur des airs connus), en raison de l'interdiction de parler imposé par le privilège de la Comédie-Française. Peu à peu s'y mêlent des passages en prose, au gré de l'assouplissement des interdictions.

Le genre de l'opéra-comique connaît un essor et un succès prodigieux au cours du siècle ; l'orchestre peut y être assez important. Même s'il est souvent limité à moins d'une dizaine de d'instruments dans la première moitié du siècle, il arrive que malgré le privilège négocié on atteigne le double[212]. Il faut aussi prévoir l'espace pour les danseurs dans les divertissements.

Conclusion de l'étude historique de la Foire Saint-Germain

Dans notre étude de la Foire Saint-Germain à Paris, nous avons abordé autant la Foire elle-même, dans son intégration au sein de Paris, que les spectacles qui s'y développèrent pendant le dix-huitième siècle. Cette étude était indispensable pour permettre de connaître le contexte historique et culturel de la restitution de théâtre forain que nous souhaitons entreprendre. Elle a été menée sous un angle nouveau et inédit : l'analyse spatiale et architecturale de la Foire Saint-Germain et de ses spectacles. Fort de cela, nous pensons pouvoir démentir plusieurs idées reçues persistantes :

1. *La Foire Saint-Germain et ses spectacles disparaissent après 1762*[213]. C'est faux, la Foire est reconstruite sous une nouvelle forme dès 1763 et accueille encore des spectacles avec de grands succès (Nicolet, Audinot) jusqu'à la veille de la Révolution et peut-être même jusqu'à la destruction de la foire marchande en 1811. Cette méconnaissance chez ceux qui ont souvent assimilé Foire Saint-Germain, spectacles forains et Opéra-Comique est probablement due à la disparition de la présence foraine de l'Opéra-Comique.
2. *Les loges foraines sont faites de constructions légères*[214]. C'est parfois vrai, mais souvent faux. Sur les treize emplacements de spectacles forains que nous avons pu formellement identifier, seuls trois sont construits dans le préau de la Foire et étaient donc construits en bois. Le reste était abrité dans des jeux de paume, des structures pérennes parfois présentes depuis des siècles et qui ne sauraient être qualifiées de « constructions légères ». Par ailleurs, à Paris comme ailleurs, la construction en maçonnerie n'est pas toujours de mise au XVIII^e siècle et le pan de bois ourdis reste la règle : cette technique de construction, si elle est effectivement moins lourde que la maçonnerie, n'en est pas moins durable.
3. *Les troupes font preuve d'une grande itinérance*. C'est parfois vrai, mais souvent faux. Dans les années 1710, la multiplication des entrepreneurs et des spectacles d'opéra-comique mène probablement à ce que l'on pourrait appeler la « bulle » des spectacles de la Foire Saint-Germain. Cette bulle semble exploser en 1718, mais après ces dates et avant, les entrepreneurs et les troupes sont en réalité bien ancrés dans leurs salles. L'extrême mouvance qu'on leur attribue est probablement liée à l'idée reçue que les théâtres seraient de construction légère ce qui nécessiterait leur reconstruction chaque année. Cette idée reçue, rarement formulée telle qu'elle, invite cependant à

première une collaboration, dûment monnayée, qui permet le développement de l'opéra-comique : en ce sens, elle est sans doute une des pionnières du genre » [Porot 2015b, p.71].

212 Porot 2011.

213 Martin 2002, p. 26.

214 Barthélemy 1992, p. 32, Martin 2002, p. 14

complexifier les déplacements ou la recherche de salles par les entrepreneurs. Nous pensons avoir fait la preuve d'une certaine continuité dans l'utilisation des salles par les troupes, jusqu'aux années 1710.

4. *L'Opéra-Comique est le seul spectacle forain à partir de 1720*[215]. C'est faux, de nombreux autres spectacles perdurent à la Foire Saint-Germain après cette date : marionnettistes, danseurs de corde et montreurs en tout genre sont toujours présents et ce probablement jusqu'à la disparition de la Foire en 1811.
5. *L'Opéra-Comique s'était installé dans un emplacement périphérique : le cul-de-sac des Quatre Vents*[216]. C'est faux, historiquement le cul-de-sac des Quatre Vents a toujours été au cœur des spectacles forains puisqu'il est le lieu de leur développement à la fin du XVII^e siècle, et le lieu de naissance de l'Opéra-Comique au XVIII^e siècle. Cette idée rejoint celle qui voudrait, par erreur d'interprétation du nom de « théâtres forains », que les théâtres soient dans la Foire. On l'a montré, l'espace des spectacles de la Foire Saint-Germain est beaucoup plus diffus et étendu, il s'agit en réalité d'un espace-temps qui désigne les spectacles qui ont cours durant la Foire Saint-Germain dans le quartier de celle-ci.

215 Paul-Marcetteau 1983a, p. 82
216 Barthélemy 1992, p. 52

Modélisation d'un théâtre de marionnettes

Le contexte général des spectacles de la Foire Saint-Germain au XVIII^e siècle étant défini, nous pouvons nous intéresser précisément à la restitution d'une de ces salles de spectacle. Cette restitution est opérée dans le cadre du projet VESPACE visant à faire revivre au grand public d'aujourd'hui une soirée théâtrale à la Foire. Pour mener à bien un tel projet, nous devions choisir quel théâtre restituer mais, on l'a vu, il nous reste très peu de documents graphiques ou écrits décrivant les théâtres forains ; notre choix s'est donc naturellement porté sur une miniature de Louis-Nicolas Van Blarenberghe montrant l'intérieur d'un spectacle de marionnettes.

Nous avons choisi ce document parce qu'il décrit avec précision l'espace, l'action et l'ambiance de la salle. Il s'agit donc d'un très bon document issu de la phase d'usage du lieu et qui en est un témoin que nous pensons fidèle. Nous allons présenter l'analyse de la miniature dans son contexte, son interprétation et la création d'un modèle à partir de cette interprétation. Nous montrerons également comment nous avons utilisé cette restitution avec les experts pour permettre d'améliorer notre modèle.

Une trace de l'usage d'un lieu : la miniature

Les Van Blarenberghe et Louis-Nicolas

On doit la miniature montrant un spectacle de marionnettes à Louis-Nicolas Van Blarenberghe, né à Lille en 1716 et mort à Fontainebleau en 1794[217]. Louis-Nicolas appartient à une dynastie de peintres et miniaturistes de renom, les Van Blarenberghe. Cette famille, d'origine flamande, s'installe en France vers 1580 et donnera naissance à plusieurs grands nom de la peinture des XVII^e, XVIII^e et XIX^e siècles : Hendrick Van Blarenberghe (1646-1712) premier, semble-t-il, peintre miniaturiste de la famille, Jacques-Guillaume Van Blarenberghe (1691-1742) son fils, Louis-Nicolas son petit-fils et Henri Joseph Van Blarenberghe (1750-1826) son arrière petit-fils[218]. En raison de cette amplitude temporelle, il est difficile de définir un sujet, une technique ou un format typique des Van Blarenberghe mais un style commun à l'ensemble de la dynastie ressort, empêchant de distinguer, au sein des œuvres de la dynastie, les travaux de tel ou tel peintre[219].

Un point important dans les peintures des Van Blarenberghe, et *a fortiori* dans celle de Louis-Nicolas, est la recherche d'une narration au sein de l'œuvre, ce qui donne à l'ensemble un aspect particulièrement vivant. Leur origine flamande explique le recours régulier à des scènes de genre flamandes (comme les kermesses ou les patineurs[220]), recours qui est particulièrement bénéfique à notre sujet puisque Louis-Nicolas aurait pu voir dans l'agitation, les spectacles et l'ambiance des spectacles forains des réminiscences de ces kermesses. De fait, la production de Louis-Nicolas concernant les spectacles est nombreuse : couvrant les foires et ses spectacles, les théâtres de marionnettes de différente dimension et d'envergure, ou les danseurs de corde. Il s'agit d'une thématique récurrente qui est à interpréter à la fois comme

217 Méjanès *et al.* 2006, p. 9.
218 *Ibid.*, p. 9-11.
219 *Ibid.*, p. 13.
220 *Ibid.*, p. 17.

une mode artistique au milieu du XVIII[e] siècle, et comme une envie et un plaisir personnel du peintre[221]. On aperçoit en effet dans l'ensemble de la production des Van Blarenberghe des thématiques qui reviennent, soit dans le traitement complet d'une œuvre, soit comme un clin d'œil : ainsi comédiens, danseurs, enfants ou animaux joueurs sont-ils des éléments que l'on retrouve dans de nombreuses productions.

L'intérêt des peintures de Louis-Nicolas Van Blarenberghe réside aussi bien dans l'abondance de détails que dans l'exactitude des scènes réalisées. Pour le premier point, il est intéressant de constater en effet la multiplicité et l'unicité des personnages, des costumes, des animaux représentés sur les peintures. Chacun d'eux raconte une histoire un peu différente de ses voisins et vient ainsi restituer l'ambiance d'un lieu de manière que nous estimons vraisemblable à défaut de pouvoir juger de son réalisme. Concernant l'exactitude des scènes représentées, elle tient aux modes de production utilisés par les peintres de la dynastie. Les Van Blarenberghe utilisent des instruments d'optique afin de mieux visualiser et construire les scènes qu'ils observent attentivement sur place. Pour certains sujets qui ne sont pas observés directement, la création de la peinture est précédée d'une phase de documentation intensive qui permet une représentation au plus proche de la réalité.

L'art spécifique de la miniature est habilement exploité par Louis-Nicolas. Irène de Château-Thierry en fait la description suivante[222] :

> L'art du récit propre aux Van Blarenberghe, qui consiste à structurer une histoire en une succession de scènes dans une foule de personnages […] est parfaitement adapté à ce processus de perception de la miniature, que Louis-Nicolas exploite dès les années 1760 et qui fait rapidement son succès dans le milieu de l'aristocratie parisienne et européenne. L'œil, forcé de rapprocher son objet, accommode sur un premier détail : il effectue une mise au point qui génère sur la surface adjacente un hors foyer. Il perd alors la lisibilité de la totalité de l'œuvre et doit décrypter, détail après détail, l'ensemble du récit, dont le sens se construit au fur et à mesure de la lecture. Ces sous-ensembles, et le temps dévolu à leur interprétation, introduisent la notion de durée qui transforme la scène en séquence. L'enchaînement des séquences, guidé par la couleur, les gestes des personnages et la composition des groupes, devient un scénario.

Ces qualités font des productions des Blarenberghe, notamment de Louis-Nicolas qui deviendra officiellement peintre des batailles de Louis XVI en 1778 (avec pour charge la représentation des victoires de Louis XV) et Henri-Joseph, des objets prisés de la bourgeoisie et de l'aristocratie du XVIII[e] siècle, les poussant à se protéger à Fontainebleau de la Terreur.

La boîte à priser et sa miniature

La miniature à laquelle nous nous intéressons spécifiquement figure sur une boîte à priser aujourd'hui conservée au Metropolitan Museum de New-York[223] (*Fig. 103*) et de type boîte « à cage », c'est-à-dire sur laquelle sont montées plusieurs miniatures[224]. Sur une de ses deux faces principales, la boîte présente une salle de spectacle au centre de laquelle prend place un danseur de corde, sur l'autre, elle présente un spectacle de marionnettes. La boîte dorée et argentée rehaussée de gemmes, de forme rectangulaire allongée avec ses angles biseautés (largeur de 7,1 cm, hauteur de 4,1 cm, profondeur de 2,7 cm), a été réalisée par Joseph Étienne Blerzy (1735 - 1821) et les poinçons qu'elle comporte permettent de dater cette création de 1778 ou de 1779. Les miniatures elles-mêmes, de largeur 6cm et hauteur 3cm, ont été peintes

221 *Ibid.*, p.23.
222 *Ibid.*, p.44.
223 MET Museum, 17.190.1130.
224 Méjanès *et al.* 2006, p.44.

Fig. 102. **Boîte à prise de Joseph-Étienne Blerzy avec miniatures de Louis-Nicolas Van Blarenberghe conservée au MET Museum de New-York. (Photo : MET Museum, New-York)**

à la gouache sur du vélin. On ne sait pas, en revanche, si elles ont été réalisées à la même date ou s'il s'agit d'un travail antérieur incorporé à cette boîte à la fin des années 1770, nous y reviendrons.

La description concise du *Catalogue raisonné des œuvres des Blarenberghe* permet de se faire une bonne idée de l'aspect général de cette miniature :

> Théâtre de marionnettes. Dans la salle d'un petit théâtre dont le fond est tendu d'un décor peint de verdure, le spectacle commence. À droite, une famille qui vient d'entrer est accueillie par une jeune fille. D'autres spectateurs ont déjà pris place dans la tribune ou les bancs. Un clown blanc présente la scène qui s'ouvre dans l'encadrement du théâtre. On reconnaît la marionnette de Polichinelle. À gauche, au pied du théâtre, face à l'assemblée, sont assis deux instrumentistes : un violon et une viole[225].

Revenons plus en détail sur ces éléments. La composition de la scène adopte un point de vue particulier, impossible en réalité, montrant une salle de spectacle dont on aurait enlevé le mur latéral pour en observer l'intérieur. Cela donne une profondeur particulière à cette miniature, puisque les limites de la boîte semblent se confondre avec celles de la salle. Pour réaliser une telle composition, l'artiste a dû jouer avec la perspective, et une analyse des lignes fuyantes du tableau montre qu'il ne s'agit pas d'une construction juste, mais de la superposition de plusieurs plans ayant chacun un point de fuite différent dans le but de montrer au mieux les différentes caractéristiques de cette composition. L'entrée de la salle est représentée sur la droite, sous la forme d'un rideau vert permettant de laisser passer les spectateurs. Derrière ce rideau, et donc à droite en entrant, des gradins montrent des spectateurs probablement debout. Ceux qui bordent le garde-corps sont suffisamment précis pour que l'on puisse distinguer une femme et deux hommes, tandis que le reste n'est

225 Maillet 2004.

Fig. 103. Miniature de Louis-Nicolas Van Blarenberghe montrant un spectacle de marionnettes. (Photo : MET Museum, New-York)

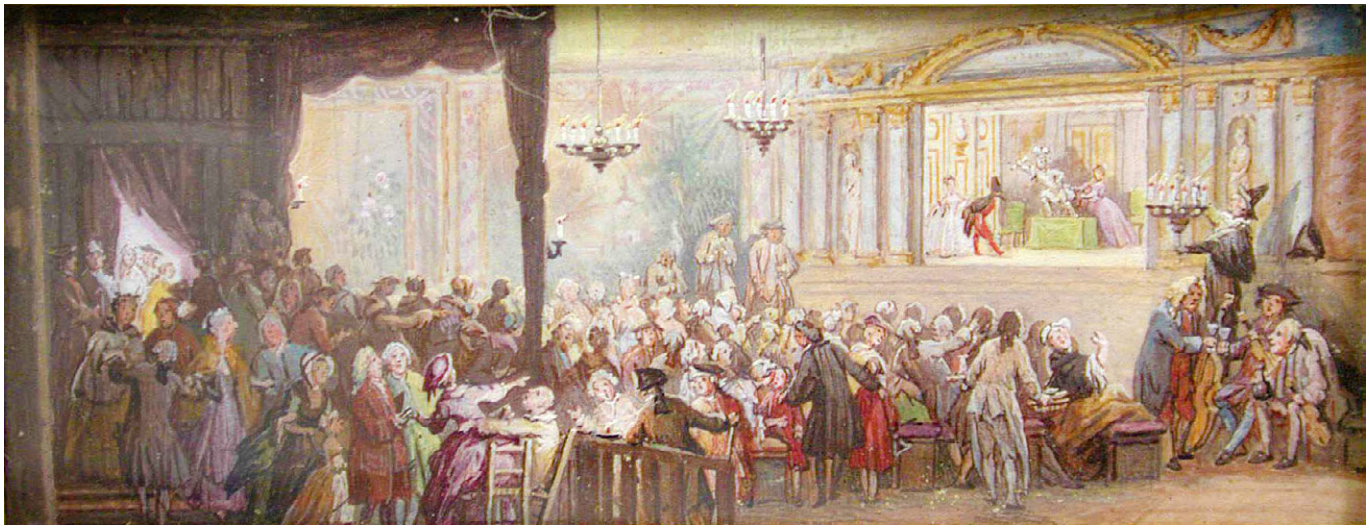


Fig. 104. Miniature de Louis-Nicolas Van Blarenberghe montrant l'intérieur du spectacle des Fantoccini. (Photo : Huntington Art Gallery, Pasadena)

qu'esquissé. Au centre de la miniature, une barrière avec une porte tenue ouverte par l'ouvreuse portant une robe verte et rose permet de séparer le parterre de l'amphithéâtre : on y voit un groupe de personnages pénétrer cette zone, guidés par un geste de l'ouvreuse qui semble se lever de la chaise figurée derrière elle. Ce groupe, peut-être une famille, est composé d'une dame portant de son bras droit une enfant en robe blanche qui pointe son doigt vers la scène, comme pour manifester son impatience. Elle guide de son autre bras une autre petite fille en robe blanche, tandis qu'un garçon les suit, en redingote rouge, avec son épée à la ceinture. Le contraste entre la coiffe apparemment modeste de celle qui accompagne les enfants et les vêtements d'apparence luxueuse de ceux-ci laisse penser que leur mère est la femme qui les suit, portant une robe à la française bleue, entrant de manière théâtrale dans la salle, accompagnée à son bras droit d'un homme vêtu d'un ensemble noir, un homme d'Église qui se distingue par son rabat bleu à liseré blanc, et à son bras gauche d'une femme vêtue d'un manteau jaune.

Dans le parterre, et donc la partie gauche de la composition, on distingue trois bancs de bois recouverts de velours vert sur lesquels est assise une foule relativement dense sur la partie droite de la salle. Blarenberghe a en effet laissé tout le premier plan très dégagé, afin de permettre d'observer certains personnages clés. Parmi ceux-ci, un homme se tenant sur la barrière de séparation et posant le pied sur un banc paraît avoir une attitude bien désinvolte. Encore à gauche, deux musiciens dont un bossu, faisant face à au public juste à côté de la scène, semblent se regarder tandis qu'ils tiennent l'un un violon, l'autre une viole. À leur gauche, un enfant vêtu de rouge s'approche au plus près de l'action sur le castelet, commentée à haute voix par un Pierrot tout de blanc vêtu. Dans l'assistance, au premier rang une femme porte dans ses bras une enfant qui, elle aussi, montre la scène de son petit bras, alors qu'une autre spectatrice semble tenter de la distraire ou lui demander le silence. Dans la masse du public, on distingue quelques visages se tournant vers l'arrière ou le côté, suggérant des conversations pendant le spectacle. Deux personnages masculins, adossés au mur latéral, semblent critiquer la foule.

Le castelet, enchâssé dans un rideau cramoisi, est lui-même une structure bleu-pâle où deux piliers décorés de muses, reconnaissables aux instruments qu'elles portent soutiennent un entablement rehaussé de dorures. Au centre, sur une petite scène surélevée, se joue la pièce de marionnettes. On y voit Polichinelle, à la posture typique dans son costume rouge et vert, levant la jambe droite, et Dame Gigogne en robe noire et rouge accouchant de trois enfants don l'un joue l'acrobate. L'artiste a représenté les fils reliant les marionnettes aux tringles cachées derrière un rideau bleu. On distingue à peine, derrière ces comédiens de bois, le décor qui pourrait

figurer une vue urbaine avec un bâtiment important sur la droite, et un second de hauteur plus réduite au centre.

Dans cette miniature, on retrouve donc certains thèmes chers à l'œuvre de la dynastie des Blarenberghe, parmi lesquels le dialogue entre les différentes classes sociales[226]. Les coiffes et costumes trahissent en effet une certaine mixité à l'intérieur de ce petit espace, suggérant que les plus nobles venaient accompagnés de leurs laquais (ou de leur gouvernante, comme on peut le déduire de la scène de l'entrée). La précision saisissante des miniaturistes est ici encore à l'œuvre puisque, dans ce petit espace, pas moins de cinquante personnages sont distinguables, chacun présentant une attitude ou un costume qui lui est propre. Cette miniature peut se rattacher à plusieurs autres œuvres des Blarenberghe, et notamment une miniature tout à fait semblable, montrant un théâtre de marionnettes, dite « Spectacle des Fantoccini » et conservée à Pasadena dans la Huntington Art Gallery[227]. Dans ce spectacle des Fantoccini (*Fig. 104*), qui furent actifs sur les foires et boulevards parisiens et au Palais-royal depuis les années 1760 jusqu'à la fin des années 1780[228], on y voit une salle plus richement décorée dans le goût néo-classique de la fin du XVIII^e^ siècle, mais présentant les mêmes caractéristiques générales et l'on y retrouve même le violoniste bossu au premier plan. Les contours des objets et des personnages y sont plus marqués et l'ambiance rendue y est fort différente, les couleurs plus pâles et la foule plus dense et plus riche. Cette miniature est datée, d'après les marques laissées sur la boîte, de 1775. L'intérêt de cette seconde miniature d'un théâtre de marionnettes est qu'elle met en lumière certains aspects que la composition de l'œuvre conservée à New-York ne permet pas d'appréhender : la séquence d'entrée notamment, et ce qui se passe en arrière de la séparation entre parterre et amphithéâtre.

Une célèbre miniature de Louis-Nicolas van Blarenberghe montre cette fois l'intérieur de la Foire Saint-Germain peu avant son incendie de 1762 (*Fig. 80*). Elle n'évoque pas directement un jeu de marionnettes mais montre la façade donnant dans la Foire de deux spectacles, celui de Nicolet, qui donnait à l'époque des spectacles de théâtre et danse de corde, et celui de Bienfait, qui donnait des spectacles de marionnettes[229]. La miniature, datée de 1763, présente donc à titre mémoriel la façade sur rue d'un théâtre de marionnettes à la Foire Saint-Germain (nous en avons fait l'analyse précédemment). Si l'on s'intéresse plus en détail à la miniature, nous pouvons remarquer qu'un étendard à droite juste à côté de l'escalier, fait l'annonce pour les « Marionnettes sans pareilles du sieur Bienfait ». Juste à droite et dans l'ombre, une affiche représente Dame Gigogne et trois de ses enfants sortant de sa robe, elle porte l'inscription « Le Grand Escamoteur Chinois » qui serait le titre d'un spectacle joué par Bienfait[230].

Le personnage de Dame Gigogne était-il si commun à la Foire pour être représenté deux fois par le miniaturiste ? Françoise Rubellin nous suggère de voir un lien entre ces deux miniatures, l'une annonçant le contenu de l'autre, et notre spectacle de marionnettes serait donc une représentation de la loge de Bienfait à la Foire Saint-Germain. Reste que la date de réalisation des miniatures, qu'une quinzaine d'années sépare, ne plaide pas en la faveur d'un tel rapprochement. Il faudrait donc revoir la datation de ces œuvres : les miniatures et montures étaient fréquemment modifiées ou réutilisées au cours de leur existence, et nous pourrions ainsi revoir significativement la date de la création de cette miniature.

En supposant que les deux faces de la boîte à priser aient toujours fait l'objet d'un ensemble, il est possible de s'appuyer sur la morphologie de la salle de spectacle

226 *Ibid.*, p. 20.
227 *Ibid.*, p. 305-306.
228 Émile Campardon dans son ouvrage *Les Spectacles de la foire* (Campardon 1877) renvoie vers différents entrepreneurs ou joueurs de marionnettes pour les Fantoccini, qui semble-t-il se concurrençaient sous deux appellations : les Fantoccini Français et les Fantoccini Italiens.
229 Lemoine-Bouchard 2010.
230 Aragones-Riu 2008b.

de la face de la boîte à priser pour revoir la datation. En effet, bien que la miniature n'offre à voir que deux niveaux de loges latérales, il paraît clairement que celles-ci sont droites et perpendiculaires à la scène, reprenant en cela la forme des premières salles héritées des jeux de paume. Celles-ci, avec leurs loges plaquées contre les murs de la salle, avaient un parterre strictement rectangulaire, ménageant des points de vue très inconfortables pour les spectateurs des balcons. Ce sont là les caractéristiques formelles des premières salles qui s'installaient dans les jeux de paume, et si la décoration et les luminaires laissent imaginer une certaine richesse, l'architecture de la salle paraît dépourvue des innovations de la première moitié du XVIII^e siècle, comme la salle en forme de fer à cheval[231] qui améliore particulièrement la visibilité. L'existence d'une salle possédant ces caractéristiques à la fin des années 1770 n'est pas à exclure, mais la plupart de celles-ci avaient fait l'objet d'un réaménagement au cours du XVIII^e siècle, et retenir une date plus ancienne pour la réalisation de cette miniature (et donc, suivant notre hypothèse, de l'ensemble) nous semble moins risqué. Avec Françoise Rubellin, nous serions donc tentés de replacer le contenu peint de la boîte qui nous intéresse à une période antérieure, vers 1760, montrant ainsi les spectacles de la Foire Saint-Germain avant son incendie. Ce contenu aurait été tardivement monté sur la boîte de Blerzy à la fin des années 1770, mais cette interprétation, qui nous paraît cohérente, est néanmoins dépourvue de preuve tangible.

Création du modèle

Positionnement et architecture générale

À la suite de l'article de Nathalie Lemoine-Bouchard, analysant la miniature de la Foire Saint-Germain pour replacer la scène dans le plan de la Foire[232], nous souhaitons interpréter cette peinture et en faire l'exégèse tridimensionnelle. La précision des Van Blarenberghe a en effet déjà permis d'identifier sur leurs représentations navales de nombreux navires militaires ayant existé ; nous pensons que cette représentation de marionnettes ne fait pas exception à leur soucis du détail.

Pour restituer en trois dimensions l'espace représenté sur cette miniature, nous devons nous intéresser dans un premier temps aux caractéristiques générales de cet espace. Pour déterminer la longueur, la largeur et la hauteur de la salle, nous avons utilisé les personnages qui donnent une échelle à ce volume[233]. Puisque, comme on l'a vu, les lois de la perspective ne sont pas respectées dans cette composition, nous devons faire le choix d'un plan de référence pour le calcul des dimensions : remarquons en effet que le parterre semble beaucoup moins profond au premier plan qu'à l'arrière-plan. Nous avons donc choisi le premier plan comme référence pour les dimensions du parterre, et le second plan comme référence pour celles de l'amphithéâtre, estimant que Van Blarenberghe aura voulu représenter les espaces dans leur dimension la plus réaliste sur le plan le plus proche. Ces calculs nous donnent une profondeur d'environ 7 m depuis le nu, la paroi verticale, du castelet jusqu'au mur du fond du petit théâtre de marionnettes, la salle ayant une largeur d'environ 5 m sous un plafond à la française sans retombée de poutre dont on distingue clairement la poutre maîtresse à une hauteur de 3,5 m environ. Il faut rajouter à cet espace la profondeur du castelet et l'espace permettant au marionnettiste de jouer, que nous pouvons évaluer à environ 1,5 m. Nous restituons donc une surface totale de 42,5 m^2. La matérialité du sol ne peut être déduite de la peinture, puisqu'est représenté

231 Cette forme est en usage à la salle des Fossés Saint-Germain que les comédiens français occupent dès 1789.
232 Lemoine-Bouchard 2010, dont nous avons fait une interpréation plus haut, page 161.
233 La taille moyenne des hommes évolue au cours du XVIII^e siècle et oscille de 1700 à 1765 entre 163 et 168 cm d'après Komlos 2003.

une surface uniformément brune ; tout au plus certains indices au pied de la scène nous permettent d'imaginer quelques planches d'un plancher disposé dans le sens de la largeur de la pièce.

À peu près à mi-longueur de la salle, une barrière de bois d'environ 80 cm de hauteur semble séparer les spectateurs du parterre des spectateurs de l'amphithéâtre. C'est à cet emplacement qu'une petite porte, tenue par l'ouvreuse, permet le contrôle du positionnement des spectateurs. Tel que représenté, l'amphithéâtre laisse imaginer quatre rangs de places debout, couvrant une largeur au moins égale à la moitié de la salle, voire plus si l'on admet que l'artiste a reculé virtuellement le flanc de l'amphithéâtre afin de mettre en valeur la scène de l'entrée de la femme noble. Nous reviendrons sur ce point d'architecture plus tard.

L'entrée dans ce théâtre de marionnettes pose question puisque la manière dont la perspective est conçue rend l'accès au théâtre confus. En effet, le rideau vert qui semble fermer la salle s'appuie en biais, autant sur ce qui apparaît comme l'angle de la pièce à droite, que sur l'extrémité la plus avancée des gradins au fond de la salle à gauche. Il semble que cette disposition vise plus à organiser la composition de la miniature qu'à faire état de la manière dont on pénétrait dans la salle, les personnages semblant venir d'une porte dans le mur du fond, non représentée. La miniature du spectacle des Fantoccini, elle, évoque plus clairement la manière dont on entrait dans le théâtre, où une ouverture percée dans le mur latéral au fond de la salle est simplement fermée par un rideau que les spectateurs ouvrent lorsqu'ils veulent entrer ; le même dispositif aurait pu être à l'œuvre dans le théâtre qui nous préoccupe. De l'autre côté de cette porte, il est difficile de trancher entre la présence de l'extérieur (la rue ou la Foire selon l'emplacement réel de ce théâtre) ou d'une antichambre qui permettrait de filtrer le public et de vendre des billets. La vue de la Foire Saint-Germain par Blarenberghe permet d'appuyer les deux hypothèses : l'entrée du théâtre de Nicolet sur la gauche présente le même dispositif de rideau séparant l'intérieur de l'extérieur avec un guichet clairement figuré en dehors de l'espace du théâtre, tandis que l'entrée du théâtre de Bienfait, adjacent, se fait par une grande verrière qui laisse supposer qu'une autre séparation, non visible, évitait que les curieux puissent profiter des spectacles sans rien débourser. Nous avons réalisé plusieurs modélisations correspondant à des séquences d'entrée différentes afin de tester ces hypothèses. Après discussion avec les spécialistes, il a été retenu une entrée dans un coin de la salle, sans circulation centrale dans le parterre. On accède donc aux bancs dans notre modèle en longeant les murs[234].

Une telle salle pouvait-elle se situer dans les bâtiment de la Foire Saint-Germain ? Le plan de la Foire Saint-Germain avant son incendie (*Fig. 63*) permet de bien comprendre les dimensions rendues possibles par le système de loges dans l'espace forain. Les loges, dont la dimension est d'environ trois mètres de côté, sont parfois regroupées en ensemble plus grands. Cela dit, et sur ce plan du moins, les regroupements ne semblent jamais excéder la largeur d'une seule loge. Les dimensions que nous avons déduites de notre miniature ne seraient ainsi pas cohérentes avec une loge à la Foire Saint-Germain.

C'était sans compter les documents conservés aux Archives Nationales qui nous permettent de nous faire une idée du type de lieux dans lesquels étaient joués les spectacles de marionnettes. Alexandre Bertrand acquiert en effet le 21 novembre 1701 trois loges à la Foire Saint-Germain qui « font une boutique de vingt-sept pieds de largeur sur deux travées de longueur, faisant l'encoignure de la rue de Normandie vis-à-vis la grande porte des Chaudronnières »[235]. La longueur de vingt-sept pieds correspond bien à la dimension que représentent trois loges accolées comme on peut le distinguer sur le plan de la Foire, mais leur longueur de deux travées ne correspond

234 Une allée centrale, qui fait perdre de bonnes places, ne peut être totalement exclue ; elle existe dans d'autres représentations de théâtres.

235 Archives Nationales, MC/ET/XCIII/349.

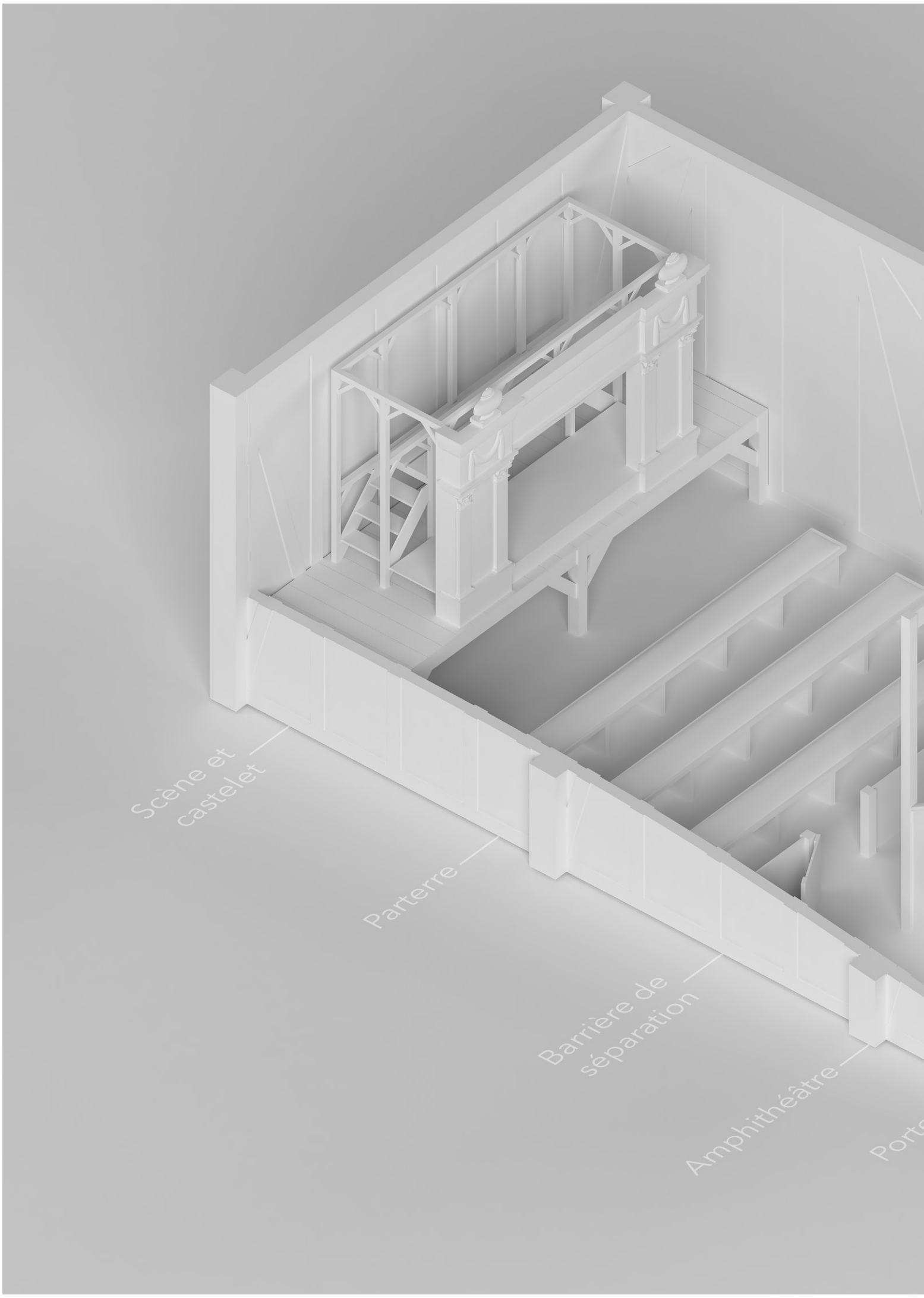

Scène et
castelet
Parterre
Barrière de
séparation
Amphithéâtre

Fig. 105. Vue montrant la structure et les principaux objets constituant l'espace du théâtre de marionnettes. Les textures ne sont pas représentées.

à rien sur notre plan. En effet, la charpente étant divisée en 23 travées, l'information « sur deux travées de longueur » désignerait alors la même distance que les « vingt-sept pieds de largeur ». L'espace décrit est donc *a minima* un carré de 9 × 9 m, soit près du double de la surface que nous projetons à partir de l'analyse de la miniature Cet exemple particulier nous montre que malgré la régularité affichée des plans de la Foire, les entrepreneurs étaient capables de construire des salles importantes, celle de Bertrand dépassant allègrement les dimensions des loges classiques. Les modalités architecturales permettant de se soustraire des contraintes imposées par les loges ne nous sont pas connues avant 1762, et nous avons précédemment d'autres plans conservés à la Bibliothèque de l'Hôtel de Ville de Paris qui plaident également en faveur d'espaces généreux construits à l'étage de la Foire (*Fig. 73*), mais elles sont en revanche illustrées par des plans de projets de théâtre après l'incendie de la Foire montrant comment il était possible de construire au-dessus des loges tout en conservant leur surface commerciale (voir ci-après, Chapitre VII). Il n'est donc pas exclu que le théâtre de marionnettes que nous étudions ait été construit sous la charpente de la Foire avant son incendie sans qu'il soit possible dans l'état de nos connaissances de l'y replacer avec précision.

Le castelet, le mobilier et la décoration

Le contenant de ce théâtre de marionnettes étant défini, intéressons-nous maintenant à ce que contient cette salle. Parmi les éléments majeurs du mobilier de cet espace figure le castelet, qui fait à la fois office de cadre de scène et de structure permettant aux marionnettistes de prendre le contrôle de leurs comédiens de bois en étant cachés du public. Cette structure bleu pâle présente une architecture classique et symétrique, elle est posée sur une scène, elle-même à une hauteur d'environ un mètre du sol. La scène du castelet est rehaussée d'une vingtaine de centimètres et présente une ouverture d'environ 180 cm de large pour 90 cm de haut. Encadrant la scène à droite comme à gauche, un cadre est composé de deux pilastres présentant chacun un chapiteau doré qui semble corinthisant et une base attique. Entre ces deux pilastres se loge la représentation d'une sculpture bleue, probablement une muse, qui s'inscrit dans une niche. La représentation de gauche, en faisant face à la scène, présente un personnage tenant dans ses mains une lyre, et celle de droite est un personnage féminin revêtu d'une longue robe dont on distingue le plissé. L'entablement soutenu par l'ensemble et fermant le cadre de scène est formé d'une architrave et d'une corniche, séparées d'une frise décorée à droite et à gauche de guirlandes florales et au centre de deux gerbes florales encadrant une couronne. Au-dessus de cette composition, deux vases bleus rehaussés d'or terminent l'ensemble tandis que le rideau rouge qui encadre toute la scène vient former un nœud central au-dessus du castelet.

Le reste du mobilier visible se compose principalement des assises pour le public, les musiciens ou l'ouvreuse. Cette dernière peut s'asseoir sur une chaise rustique, tandis que le public est lui installé sur de longs bancs qui semblent couvrir toute la largeur du théâtre, sans passage central. Ces bancs de bois, recouverts d'un tissu vert rembourré, sont soutenus par d'imposants pieds dont on ne peut distinguer la répartition. Notons que l'écartement des bancs entre eux est fantaisiste tant il est impensable que les costumes des femmes de l'époque aient permis de se déplacer entre des bancs distants d'une vingtaine de centimètres tout au plus. Les deux musiciens sont disposés sur un banc sommaire soutenu par quatre pieds ronds.

Pour l'éclairage de la salle, plusieurs dispositifs sont visibles. Trois lustres sommaires sont représentés, et un quatrième est probablement caché derrière le rideau vert à droite : ils prennent la forme de deux planchettes de bois croisées à chaque extrémité desquelles est posée une chandelle dans un bougeoir métallique à peine visible sur la miniature. L'ensemble est suspendu par une chaîne ou une corde et

contraste avec le luxe des lustres présentés sur la miniature du théâtre des Fantoccini. Un chandelier mural doré est représenté également sur le mur latéral et devait avoir son pendant sur le mur lui faisant face, il comporte deux chandelles et présente un style plus élaboré que les lustres, puisque deux bras sortent d'une applique formée de courbes et de contre-courbes baroques. Il n'y a aucun détail en revanche concernant l'éclairage de la scène elle-même, pour la bonne raison que celui-ci était invisible au spectateur. Globalement, étant donné le peu de sources lumineuses et l'intensité réelle des chandelles, il est manifeste que l'artiste a artificiellement augmenté la luminosité de la scène qu'il a représentée. Les spectateurs étaient plongés dans une pénombre qui devait permettre de distinguer par contraste la scène peu éclairée.

L'éclairage à flammes nues interroge sur l'omniprésence de tentures et de rideaux représentés sur la miniature, et notamment sur le mur latéral où l'applique est entourée de drapés cramoisis. Ces drapés encadrent deux scènes peintes qui viennent décorer le mur latéral du théâtre et devaient trouver un pendant similaire sur le mur qui leur faisait face. Il est également possible que ces drapés aient fait partie d'un décor en trompe-l'œil mettant en scène ces peintures murales, ce qui aurait limité sensiblement le risque d'incendie. C'est donc cette hypothèse que nous avons retenue pour la modélisation. Le décor peint, probablement à même les cloisons dont la matérialité est évoquée dans la miniature des Fantoccini, représente un paysage fleuri où l'on peut distinguer une grue au premier plan et ce qui semble être une architecture extrême-orientale, rapprochant ce décor des chinoiseries à la mode au XVIII[e] siècle. Ce style, que les peintures de François Boucher (1703-1770) illustrent parfaitement, incarne alors une certaine liberté et un art de vivre tourné vers le divertissement[236]… qui sied donc bien à un théâtre de marionnettes.

Techniques de modélisation et textures

La modélisation de ce théâtre a été réalisée sur le logiciel Autodesk 3DS Max[237]. Ce logiciel a été choisi en raison de sa compatibilité avec de très nombreux formats de fichiers, l'existence de nombreuses fonctions complexes ainsi qu'une bibliothèque importante de plugins spécifiques. Il est également compatible avec des moteurs de rendu photoréalistes performants comme V-Ray de Chaosgroup[238] avec lequel nous avons travaillé. De nombreuses autres solutions de modélisation existent, libres ou propriétaires, gratuites ou payantes, spécialisées dans tel ou tel domaine avec chacune leurs avantages et inconvénients. Nous avons volontairement exclu des logiciels de modélisation mécanique, qui, bien que permettant souvent d'obtenir une meilleure précision géométrique, ne sont pas adaptés à la mise en place de textures et à la modélisation de géométries non paramétrées complexes (comme des volutes, par exemple).

Dans l'optique d'une visite en réalité virtuelle du modèle que nous créons, nous sommes dans l'obligation de prendre en compte les limitations de la plateforme de réalité virtuelle, sur lesquelles nous reviendrons, dont la limitation du nombre de polygones dans la scène. Les modèles tridimensionnels sont en effet composés d'objets qui eux-mêmes sont constitués non pas de surfaces continues, comme dans la réalité, mais de polygones, plus spécifiquement de triangles. Ceux-ci permettent une approximation de la surface des objets. Pour des surfaces planes, il n'y a pas de différence visuelle entre une surface composée d'un seul grand polygone (plus spécifiquement de deux triangles, pour former un rectangle), ou de nombreuses subdivisions. La différence est beaucoup plus sensible pour les surfaces courbes : une sphère, par exemple, nécessitera de nombreux polygones afin de ne pas être perçue comme une boule à facettes mais bien comme une surface courbe continue. Pour remédier

236 Aleyrac-Fielding 2017.
237 https://www.autodesk.fr/products/3ds-max/
238 https://www.chaosgroup.com/vray/3ds-max

à ce problème, les logiciels de modélisation 3D ont recours à la notion de lissage des normales. Il s'agit d'attribuer à chaque face une normale (qui correspond donc au vecteur « normal » à cette surface) et de tricher lors du rendu pour faire varier en douceur la normale apparente entre les centres de deux faces adjacentes : la surface ainsi visualisée paraît lisse, sauf sur les bords qui ne peuvent bénéficier de ce traitement. Cette technique a des limites, si bien qu'une modélisation avec de nombreux polygones est souhaitable pour certains objets complexes.

Les contraintes de la réalité virtuelle nous poussent donc à limiter autant que possible le nombre de triangles dans l'ensemble de la modélisation. D'un autre côté nous souhaitons également pouvoir atteindre une certaine précision dans le dessins des objets afin de maintenir un degré de réalisme et de précision scientifique satisfaisant. Ces injonctions contradictoires sont à prendre en compte à chaque étape de la modélisation et impliquent une réflexion préalable à la réalisation de chaque objet en se basant sur plusieurs critères :

1. Critères d'importance :
   — l'objet est au cœur de la scène, le point d'attention ;
   — l'objet est essentiel au fonctionnement d'autres objets ;
2. Critères de complexité :
   — la forme de l'objet ne peut être approchée par des lissages ;
   — la forme de l'objet ne peut être rendue par des textures (*bump map*, *normal map, displacement map*) ;
3. Critères de confiance, d'incertitude :
   — l'objet est attesté avec certitude ;
   — la forme de l'objet est attestée avec certitude.

Plus un objet spécifique de la scène répond à ces critères, plus sa modélisation devra être précise.

Incertitude et objet du modèle

Pour sa modélisation, chaque objet dans ce petit théâtre de marionnettes peut facilement faire l'objet d'un classement selon les critères précédemment définis, mais la question de la confiance dans notre cas est difficile à résoudre : nous interprétons une représentation qui elle-même pourrait être complètement inventée. Souhaitons-nous modéliser en trois dimensions le théâtre tel que représenté par Van Blarenberghe, ou le théâtre tel qu'il fut observé par Van Blarenberghe ? L'état de la documentation répond directement à cette interrogation. Il n'existe aucun document nous permettant de replacer précisément le théâtre de la miniature dans son contexte : emplacement dans la Foire ou ailleurs, propriétaire ou datation précise nous sont inconnus. Nous n'avons pas été en mesure de confirmer la présence de ce théâtre dans la Foire Saint-Germain, et *a fortiori* d'établir avec précision sa localisation dans l'enceinte de la Foire. De même, de nombreux spectacles de marionnettes avaient cours à Paris dans la deuxième moitié du XVIII^e^ siècle et il n'est pas possible de remonter à un spectacle particulier. L'objet réel, le théâtre vu par le peintre, ne nous est donc désormais connu que par le prisme déformant du regard de l'artiste et de la technique de peinture.

Notre ambition pour ce modèle est donc de remonter *a minima* à l'image mentale de ce théâtre de marionnettes qu'avait Louis-Nicolas Van Blarenberghe avant de la distordre par le biais des techniques de représentation et de peinture des miniaturistes. Le modèle ainsi produit devrait représenter un théâtre de marionnettes non seulement vraisemblable (qui semble vrai) mais surtout plausible (qui aurait pu exister). Pour cela nous faisons face à de nombreuses incertitudes (*Fig. 106*) :

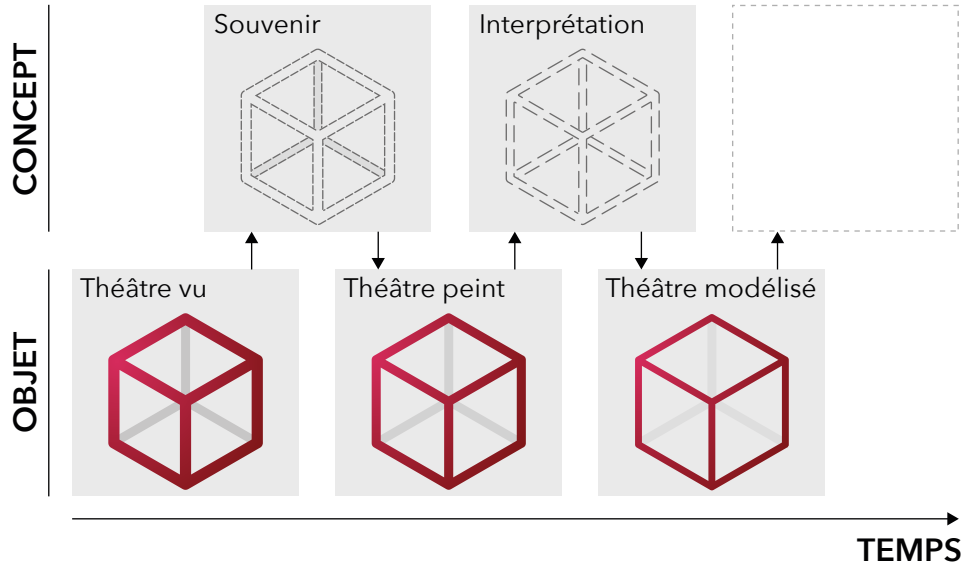


Fig. 106. Interprétations successives d'objets et de concepts pour la modélisation du théâtre de marionnettes. Chaque flèche représente une source d'incertitude.

— une incertitude d'interprétation de l'objet réel par le peintre pour en produire une image mentale (son souvenir du théâtre était-il déformé par des biais ?) ;
— une incertitude de représentation de cette image mentale sur la miniature (quels procédés ou raccourcis ont mené à une déformation de l'image ?) ;
— une incertitude d'interprétation de la peinture par nous-même pour générer notre image mentale (pouvons nous interpréter correctement les représentations de l'artiste ?) ;
— une incertitude de représentation de cette nouvelle image mentale (le modèle 3D produit correspond-t-il à ce que nous avions en tête ?).

La méthodologie que nous avons mise en place nous permet de cibler, comprendre et minimiser ces incertitudes en prenant en compte les usages dans ces espaces et en ayant recours à l'immersion en réalité virtuelle en présence d'experts. Les retours ainsi obtenus permettent de comparer le modèle obtenu avec l'état des connaissances sur le sujet et donc d'approcher l'objectif fixé d'une restitution « plausible » et pas seulement « vraisemblable ». Nous proposons de nous intéresser en détail à plusieurs objets de la scène afin de mettre en évidence les questions que posent leur restitution et leur modélisation ainsi que les techniques mises en œuvre. Ces objets sont : les murs latéraux afin d'explorer les techniques de réalisation de décors, la façade du castelet et son éclairage et enfin le castelet lui-même.

Les murs de la salle et leur décor

Même si la visualisation de l'image ne laisse apparaître que la surface des murs, le mur pose la question de la structure qui entoure l'espace. La structure est quant à elle fonction du bâtiment dans lequel se tenait cette pièce. À cet égard, ne pas connaître le contexte précis de la miniature est donc problématique et source d'incertitudes. Nous avons fait l'hypothèse qu'il s'agit d'un théâtre de marionnette à la Foire Saint-Germain, et resterons donc sur cette hypothèse pour l'analyse de la structure.

La miniature est peu loquace concernant la structure de l'ensemble : tout au plus les poutres du plafond à la française permettent-elles d'imaginer une structure « minimale » qui puisse en supporter les retombées. On l'a vu précédemment, les structures qui prennent place à l'intérieur des bâtiments de la Foire sont assez légères et prennent la forme de pans de bois avec un remplissage irrégulier : il nous est donc possible de faire concorder ce type de structure avec les retombées de l'unique poutre

Fig. 107. Extrait de la miniature de Blarenberghe montrant le décor des murs de la salle.

Fig. 108. Restitution du décor que nous proposons.

figurée sur la miniature. De nombreuses références permettent d'imaginer ce type de structure ; nous nous sommes référé notamment aux planches du *Dictionnaire Raisonné de l'Architecture* de Viollet-le-Duc[239]. On peut supposer qu'un enduit venait ensuite recouvrir l'ensemble de manière régulière pour uniformiser toutes les parois de la salle ainsi constituée.

Concernant le décor des murs, la miniature ne donne pas non plus beaucoup d'indices : le sujet peut être effectivement compris comme un paysage de chinoiserie à la mode à l'époque, mais la méthode d'application n'est pas détaillée. S'agit-il d'une fresque peinte sur l'enduit des murs, ou d'un décor peint sur un support ensuite marouflé sur les murs ? Nous avons opté pour la première solution, en précisant néanmoins qu'il nous semble délicat d'imaginer une vraie « fresque » (c'est-à-dire un travail réalisé *a fresco* par des artistes très expérimentés avant que l'enduit ne sèche) mais plutôt une peinture murale appliquée grâce à un liant sur le support.

Contrairement au reste des textures de la salle pour lesquelles nous avons préféré des matériaux procéduraux, nous avons procédé autrement pour les murs. Les matériaux procéduraux (ou textures procédurales) ne dépendent que de paramètres, et peuvent donc être appliqués ou modifiés très simplement et s'adapter sans effort à des objets de différente taille et morphologie. Pour les murs, nous avons utilisé du *mapping* de texture, c'est-à-dire que nous avons fait correspondre chaque surface d'un objet à un emplacement sur une image. Lors du rendu, le moteur lit l'image pour l'afficher à l'emplacement voulu de l'objet. Le *texture mapping*, s'il permet un

239 Viollet-le-Duc 1854, t. VII, p. 43.

Fig. 109. Extrait de la miniature de Blarenberghe montrant la façade du castelet.

travail de grande précision en ajoutant de très nombreux détails grâce à des logiciels d'édition d'image, est néanmoins beaucoup plus long et moins adapté à un travail de recherche en cours. Toute modification de la forme d'un objet nécessite en effet de revoir entièrement le mapping et donc la texture produite.

Pour le décor des murs latéraux, nous ne pouvions pas produire une texture paramétrique qui prenne un aspect figuratif. Nous avons donc, après un *mapping* des faces de la salle, utilisé le logiciel Adobe Photoshop et avons entrepris un travail de montage et de peinture numérique en identifiant plusieurs éléments caractéristiques parfaitement visibles dans la miniature. Premièrement, les tentures que nous interprétons en trompe-l'œil (et non en éléments tridimensionnels faits de tissu) qui encadrent les peintures murales (*Fig. 107*). Deuxièmement, le décor végétal avec ses masses clairement visibles : quelques plantes à dominante verticale et des masses qui vont en grandissant à mesure que l'on se rapproche du fond de la salle. Troisièmement, un élément architectural de type « pagode chinoise » et quatrièmement, une grue et un oiseau dans le ciel. Nous avons donc cherché à reproduire ces caractéristiques, et non à nous intéresser dans le détail à la position ou à la forme des éléments figurés par Blarenberghe (*Fig. 108*).

En utilisant des images présentes sur Internet, nous avons entrepris le détourage des éléments qui nous intéressent, leur positionnement, leur modification le cas échéant et l'ajustement de leur colorimétrie et contraste afin de créer un ensemble cohérent. Afin d'unifier le tout, nous avons utilisé un filtre global « Peinture à l'huile » (disponible par défaut dans Photoshop) qui a le mérite de limiter également le nombre de détails dans l'image en simulant le passage de grands traits de pinceau .

La miniature ne montre que le mur de droite du théâtre, en regardant la scène, et il est exclu que des peintures identiques aient pris place de chaque côté de la salle. Nous avons donc entrepris un travail similaire « dans l'esprit » du mur de droite sur le mur de gauche : les mêmes trompe-l'œil figurent des rideaux rouges, des masses végétales à dominante verticale sont également placées et nous avons aussi disposé un pavillon chinois sur ce mur. Pour cette face du mur, nous sommes typiquement dans le cas d'un élément très incertain, peu important mais relativement complexe : il se pose donc la question de sa simplification. Or, s'agissant d'un élément de décor, une simplification à outrance aurait rendu la vision de la salle gênante, en présentant un mur relativement détaillé à droite et simplement esquissé à gauche. Nous avons donc choisi de conserver une certaine complexité dans le dessin afin d'assurer l'harmonie de la restitution du point de vue de la décoration.

La façade du castelet et son éclairage

La façade du castelet apparaît clairement dans la miniature de Van Blarenberghe si bien que nous avons déjà pu en faire une analyse détaillée des composants

(*Fig. 109*). À notre connaissance, il n'existe pas de castelet de théâtre de marionnettes à tringle ou à fil conservé pour le dix-huitième siècle qui soit de dimension comparable avec celui présenté sur cette miniature. Nous devrons donc nous appuyer principalement sur cette représentation pour modéliser cet élément essentiel du théâtre de marionnettes.

L'incertitude majeure concernant l'analyse de la représentation qui nous intéresse porte sur la volumétrie même de cette façade. Le peintre a en effet détaillé des piliers, corniches, sculptures et moulures diverses, mais il est difficile d'interpréter leur aspect réel. S'agissait-il de détails en trompe l'œil sur une surface plane ou bien a-t-on affaire à un ensemble décoré avec soin en trois dimensions ? Une autre possibilité est celle d'un mélange des deux solutions, où les principaux éléments auraient été construits en trois dimensions (pilastres, corniches, etc.) et le reste aurait été peint sur les surfaces planes (décorations, sculptures, etc.). Dans les deux cas, la modélisation impose la réalisation de tous ces éléments en trois dimensions. En effet, pour créer la texture d'un éventuel trompe l'œil, nous aurions besoin d'un modèle tridimensionnel éclairé en conséquence sur lequel nous appliquerions un effet simulant une peinture.

Pour créer les grandes lignes de la structure de ce castelet, nous nous sommes inspirés de moulures typiques de l'architecture française du dix-huitième siècle[240]. Pour la conception des quatre chapiteaux des piliers engagés, nous avons eu recours à des modèles de chapiteaux en bois doré d'époque : les antiquaires regorgent en effet de ce type d'objets ce qui permet d'établir quels sont les éléments importants et caractéristiques de tels chapiteaux. Il s'agit d'un type d'objet à modéliser dont la complexité est très grande au regard de son importance dans la scène… mais qu'il apporte une plus-value non négligeable à la perception globale de l'aspect de ce théâtre. Nous avons donc cherché à réduire drastiquement le nombre de polygones de ce chapiteau afin d'en limiter le plus possible l'impact sur les performances. Une première version du chapiteau a donc été modélisée sans tenir compte du nombre de polygones, puis nous sommes revenu sur ce modèle pour limiter fortement la géométrie au strict nécessaire. L'enjeu est alors de permettre de rendre la différence imperceptible entre le modèle initial et le modèle décimé (c'est à dire dont la quantité de polygones a été réduite). Nous avons réussi à réduire de près de 95% le nombre de polygones composant ces chapiteaux.

Symétriquement de part et d'autre de la façade du castelet, deux sculptures, ou peintures en trompe-l'œil de sculptures, représentant des muses apparaissent dans la représentation de Louis-Nicolas Van Blarenberghe. Nous avions choisi dans un premier temps de laisser les niches dans lesquelles elles figurent vides mais nous sommes résolu à y placer des modèles de sculpture représentant une muse afin de mieux correspondre à la représentation du peintre. Plutôt que de réaliser le modèle d'une telle sculpture, nous nous sommes appuyés sur le modèle tridimensionnel d'une sculpture de Muse tenant un masque de comédie et disponible librement sur le site SketchFab[241]. Ce modèle a ensuite été décimé afin d'en réduire le nombre de polygones puis ses dimensions ont évolué afin de mieux correspondre aux proportions qui apparaissent de la miniature de Blarenberghe. Nous avons ensuite produit une image à partir de ce modèle, image qui permet d'agir comme une texture et d'être intégrée comme un trompe l'œil dans le modèle de façade du castelet. On sait que de nombreux théâtres présentaient une décoration particulièrement soignée avec des sculptures en haut relief, mais il nous semble démesuré d'imaginer de tels éléments pour un théâtre avec une envergure aussi réduite.

240 Pérouse de Montclos 2011.

241 « Woman holding a comedy mask » par Geoffrey Marchal. Il s'agit d'un modèle photogrammétrique issu de la numérisation d'une œuvre antique conservée au Musée du Cinquantenaire de Bruxelles. L'anachronisme est évident entre cette représentation et le reste de la scène peut être source de confusion. Néanmoins, nous pensons que les transformations que nous y avons apporté ainsi que l'affichage final (sous la forme de peinture) limite fortement l'impact de cet anachronisme sur la qualité de la restitution.

Fig. 110. Dispositif d'éclairage de la scène, vue depuis les coulisses côté jardin, montrant les chandelles placées devant des réflecteurs. Le pont du marionnettiste est à gauche. Février 2019.

Un des points importants de cette restitution a été la création de textures adaptées pour représenter les matériaux utilisés. En effet, on peut imaginer que la structure est composée de bois enduit et peint avec des parties dorées à la feuille, comme il est habituel pour de nombreux décors de théâtre. Concernant le matériau bleu appliqué sur le castelet, il est censé produire un rendu légèrement satiné sur les images, avec une légère ondulation permettant de transcrire les irrégularités du support. De plus, pour éviter que ce matériau n'apparaisse comme trop parfait, un niveau d'information supplémentaire a été ajouté sous la forme d'imperfections dans les angles et les bords de la peinture, lui donnant un air patiné. Pour la couleur dorée, nous avons dû adapter les méthodes traditionnelles de réalisation de ce matériau (qui consistent à créer un matériau entièrement noir mais dont la couleur et l'intensité du reflet porte cet aspect « doré ») car celles-ci ne produisaient que des résultats médiocres et peu visibles qui ne correspondaient pas à l'aspect presque jaune vif de la miniature. Après de multiples essais, nous sommes parvenu à un résultat convaincant, qui paraisse à la fois accrocher la lumière et avoir un fini mat qui caractérise la dorure à la feuille.

Au revers de la façade du castelet devait se tenir un dispositif d'éclairage (*Fig. 110*). En effet, on le voit sur l'image de la miniature, il ne semble pas exister de rampe en avant de la scène qui permettrait d'éclairer les marionnettes depuis le bas. Cela impose donc d'éclairer la scène par les côtés, une idée qui était apparue au cours du XVII^e^ siècle[242] et qui consiste principalement à placer derrière les pendrillons latéraux des éclairages munis si possible de réflecteurs. Évidemment, l'ensemble est conçu de telle sorte qu'il ne soit pas visible depuis la salle, et c'est donc sans l'aide de la miniature de Blarenberghe que nous devons restituer cet élément essentiel à la tenue d'un spectacle. Nous nous sommes tourné vers le Théâtre de la Reine au Petit Trianon de Versailles qui a le mérite de conserver la machinerie et une partie des éclairages de la fin du XVIII^e^ siècle (le théâtre a en effet été construit de 1777 à 1780).

242 Clarke 2017.

À l'arrière des éléments de décors latéraux, des éléments métalliques en fer blanc en forme de « L » supportant deux bougies : le métal permet de refléter la lumière de la flamme vers le décor et la scène tandis que la partie horizontale permet de récupérer les inévitables chutes de cire ou de suif.

La modélisation de l'éclairage, outre celle du dispositif lui-même, impose la modélisation de l'intensité lumineuse produite par ces sources. Pour la production des images de rendu, nous utilisons le logiciel V-Ray qui se veut un moteur de rendu physiquement réaliste, c'est-à-dire qu'il simule via un algorithme de « lancer de rayon » le cheminement de la lumière dans l'espace[243]. Pour pouvoir produire un rendu réaliste, nous devons donc connaître la puissance lumineuse de ces sources d'éclairage qui sont constituées principalement de chandelles et non de bougies. La différence réside dans l'utilisation de suif et non de cire : la combustion d'une chandelle dégage donc de la fumée noire et également une forte odeur désagréable, deux inconvénients que n'a pas la bougie. Il semble également que la bougie produise un éclairage plus important que la chandelle mais son prix extrêmement élevé au XVIII^e siècle en réduisait fortement l'usage. L'intensité d'une flamme de chandelle est d'environ 1 Candela, valeur qui peut être incorporée dans le modèle afin de produire une lumière réaliste.

La structure du castelet et le décor

De même que le dispositif d'éclairage de la scène n'est pas explicitement représenté dans la miniature de Van Blarenberghe mais fait partie des éléments indispensables à l'usage de la salle, la structure du castelet est également nécessaire pour jouer un spectacle de marionnettes. Il existe de nombreux types de castelets, adaptés à différents types de marionnettes. Distinguons dans un premier temps les marionnettes à gaine des marionnettes à tringle ou fil : les premières sont jouées par un marionnettiste placé sous le castelet et caché par la façade de celui-ci. La marionnette, constituée d'une tête en bois cousue sur une gaine en tissu sur laquelle sont fixés des bras permet au marionnettiste d'y glisser la main. Les secondes sont manipulées par le dessus avec deux traditions légèrement différentes : les tringles et les fils. Il s'agit dans les deux cas de relier les parties mobiles de la marionnette à ce que l'on nomme « contrôle », une croix de bois que prend le marionnettiste dans la main, permettant donc de maîtriser les mouvements de la marionnette sans être visible du public[244].

Dans le cas du spectacle représenté sur la miniature, il ne peut s'agir de marionnettes à gaine puisque l'on perçoit très clairement les jambes des marionnettes… et le dessin est si précis que l'on peut observer les fils ou tringles qui permettent de contrôler les marionnettes. Mais que se passait-il derrière le décor ? La manipulation de certaines marionnettes peut se faire avec le marionnettiste debout au même niveau que ses marionnettes, tandis que d'autres théâtres ou dispositifs scéniques nécessitent que le marionnettiste soit placé à un niveau plus élevé, sur ce qui est appelé « pont »[245]. Nous verrons dans la partie suivante comment l'apport des experts peut nous aider à trancher entre ces deux solutions et nous détourne de l'hypothèse que nous avions suivie dans un premier temps.

Cette hypothèse repose sur un castelet de marionnettes conçu en 2016 par Jean-Philippe Desrousseaux, acteur, metteur en scène et marionnettiste, pour le spectacle *Atys en Folie*. L'enjeu de ce spectacle n'était pas à proprement parler de reproduire un spectacle de marionnette du XVIII^e siècle, mais se basait néanmoins sur un castelet de marionnettes capable de reproduire les effets attendus dans un spectacle d'opéra. L'aménagement de la scène de la salle de spectacle d'Audinot à

243 Le mécanisme de lancer de rayon nécessite de grandes quantité de calcul pour permettre de produire une image complète. C'est pourquoi la plupart des moteurs de rendu, dont V-Ray, ont recours à des simplifications qui, si elles nuisent à certains détails, permettent néanmoins d'approcher la réalité physique de la propagation de la lumière dans des environnements complexes.

244 Fleury 2010, p. 38 et 47.

245 *Ibid.*, p. 50.

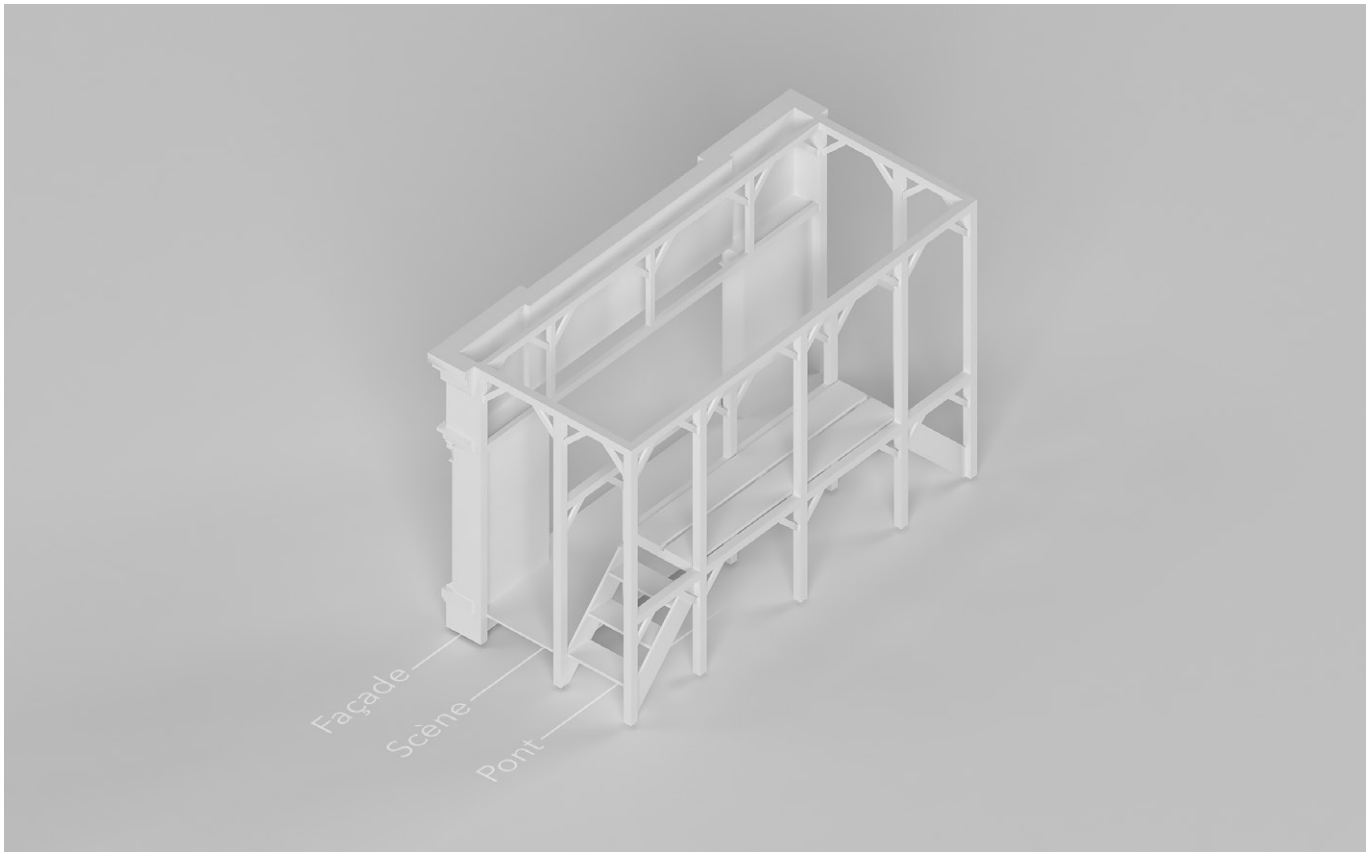


Fig. 111. Structure du castelet, sans les mécanismes, vue depuis l'arrière.

la Foire Saint-Germain de 1769, tel que visible sur des plans conservés au Archives Nationales[246], montre néanmoins que des scènes encore plus grandes ont été utilisées au XVIII^e siècle. La structure proposée pour *Atys en Folie* comprend une scène avec dessous, c'est-à-dire dont des décors peuvent surgir depuis le sol de la scène, et deux lignes de latéraux, l'ensemble permettant un changement de décor à vue. À l'arrière du fond de scène, quatre marches permettent d'accéder au pont pour la manipulation des marionnettes.

Nous avons repris les grandes lignes de la structure mais avons réduit la hauteur du pont afin qu'un marionnettiste debout à cet emplacement ne se cogne par contre le plafond de la salle (*Fig. 111*). De même, nous n'avons pas prévu de changement de décors à vue et avons laissé un seul niveau de latéraux. L'envergure du castelet est ainsi diminuée, mais correspond mieux à la scène qui est figurée sur la miniature de Van Blarenberghe, qui apparaît comme fortement réduite. Le décor que nous avons placé sur ce castelet correspond à l'évocation qui est faite au fond de la scène de la miniature, mais on voit bien que la technique du croquis utilisée pour le reproduire ne correspond pas à ce qui aurait pu être vu par un spectateur du XVIII^e siècle. L'intégration de l'usage du lieu dans son étude nous a donc poussé à revoir ce décor de manière substantielle.

Avec ces quelques exemples de modélisation, nous avons montré comment le processus de restitution s'appuie à la fois sur un document source unique et biaisé, mais également sur de nombreux savoirs contextuels (sur la pratique des marionnettes, sur l'éclairage, ou sur la peinture de l'époque) qui impliquent d'avoir accès à de nombreuses disciplines. Si nombre de ces savoirs sont accessibles par la lecture de références spécifiques, impliquant un long temps de recherches bibliographiques en amont et en parallèle de la restitution, la collaboration avec les dépositaires de ces

246 Voir chapitre VII.

Fig. 112. Une des premières images réalisées pour juger de l'emplacement de l'entrée et de la largeur de l'amphithéâtre. La déformation cherche à imiter la perspective de la miniature. Janvier 2018.

connaissances, les experts, a le mérite de faciliter l'accès à ces savoirs tout en permettant de visualiser et de comprendre certains savoir-faire spécifiques.

L'apport des experts à l'analyse des usages

Pour permettre d'intégrer les connaissances et savoir-faire des experts dans la restitution du théâtre de marionnettes que nous avons entamée, nous avons tenté autant que possible d'établir des aller-retours entre la production de la maquette virtuelle et les experts. Dans un premier temps, nous avons utilisé de simples images produites par le moteur de rendu utilisé, visualisées sur un écran en deux dimensions (*Fig. 112*). Nous avons ensuite utilisé un *Google Cardboard*, permettant une immersion virtuelle depuis un unique point fixe à l'aide de deux projections sphériques stéréoscopiques (*Fig. 113*). C'est seulement après ces expériences concluantes que nous avons souhaité passer à la réalité virtuelle immersive, au sens d'un dispositif dans lequel on puisse se déplacer librement pour explorer la restitution. C'est ce dernier dispositif que nous exposons à présent.

Enjeux techniques

Le passage d'une maquette virtuelle réalisée sur le logiciel 3DS Max à un modèle visitable en réalité virtuelle n'est pas trivial pour plusieurs raisons. Les formats de données supportés par ces logiciels ne sont pas les mêmes, les capacités de calcul en temps réel sont extrêmement réduites et nécessitent donc des simplifications[247] (aussi bien du point de vue des volumes que des textures) et enfin l'immersion en réalité virtuelle nécessite de mettre en place des dispositifs permettant le déplacement dans l'espace.

La plateforme que nous avons sélectionnée pour l'immersion en réalité virtuelle est Unity[248] utilisé pour le développement de jeux vidéo. Au moment de la sélection d'un environnement de développement, nous avons préféré Unity à son concurrent Unreal Engine[249] parce qu'Unity était utilisé de manière plus importante dans le milieu de la recherche scientifique et pour la réalité virtuelle dans notre laboratoire.

247 À l'heure où nous écrivons ces lignes, les capacités de calcul des cartes graphiques qui réalisent la plupart des calculs pour la réalité virtuelle, se sont grandement améliorées, pour le même prix, depuis ces travaux de recherche commencés en 2017. Dès lors, il est possible de concevoir un futur proche où les simplifications du modèle et des textures ne soient plus nécessaires.

248 https://unity.com/fr

249 https://www.unrealengine.com/

Fig. 113. Projection sphérique de l'intérieur de la restitution du théâtre de marionnettes pour une visualisation dans un Google Cardboard. Mars 2019.

Nous avions donc accès non seulement à l'expertise des membres du laboratoire et de l'École Centrale de Nantes, mais également à de très nombreux didacticiels et démonstrations sur Internet. En revanche, Unreal Engine était alors et reste plus performant dans les effets visuels et dans la qualité graphique de l'image produite ainsi que dans les possibilités d'interaction avec le logiciel de modélisation 3DS Max. De fait, le format de données préféré pour Autodesk 3DS Max est un format propriétaire « .max », qui ne peut être ouvert dans Unity et nécessite donc de passer par un format d'échange intermédiaire. Il s'agit dans notre cas du format FBX, pour « filmbox » du nom du premier logiciel qui le mit en œuvre, qui permet l'export depuis 3DS Max et l'import dans Unity.

Théoriquement, le format FBX permet le transfert des matériaux et textures d'un logiciel à l'autre, ce qui permettrait de visualiser directement le modèle texturé dans Unity. En réalité, en raison de l'usage du moteur de rendu V-Ray pour la création des images fixes et des textures, nous n'avons pas pu utiliser cette fonction. Le format de textures de V-Ray est en effet propriétaire et Unity non compatible avec les textures procédurales complexes que nous avions mises en place.

Ce problème d'échange est en réalité secondaire puisqu'en raison des capacités limitées de calcul en temps réel pour la réalité virtuelle, nous devions effectuer une préparation préalable des textures appelée *baking*. Sur le matériel que nous utilisons, à savoir un HTC Vive, le casque est composé de deux écrans d'une résolution de 1200*1080 pixels, rafraîchis à une fréquence de 90 Hz. Il s'agit donc pour la carte graphique de calculer la couleur de plus de 233 millions de pixels par seconde. Pour comparaison, la production d'une image statique avec 3DS Max et V-Ray a une vitesse de calcul de l'ordre de 4000 pixels par seconde sur le même ordinateur : nous ne pouvons donc pas attendre le même type de rendu sans certaines simplifications. La plus grande de ces simplifications est donc le *baking* et consiste à calculer préalablement sur le logiciel de modélisation la couleur exacte de chaque partie d'un objet en fonction de l'éclairage de la scène. Le fichier obtenu prend la forme d'une texture qui affiche donc les ombres ou les reflets issus de l'ensemble des contributions des éclairages et autres objets de la scène. Lors de l'affichage en réalité virtuelle, il est ainsi

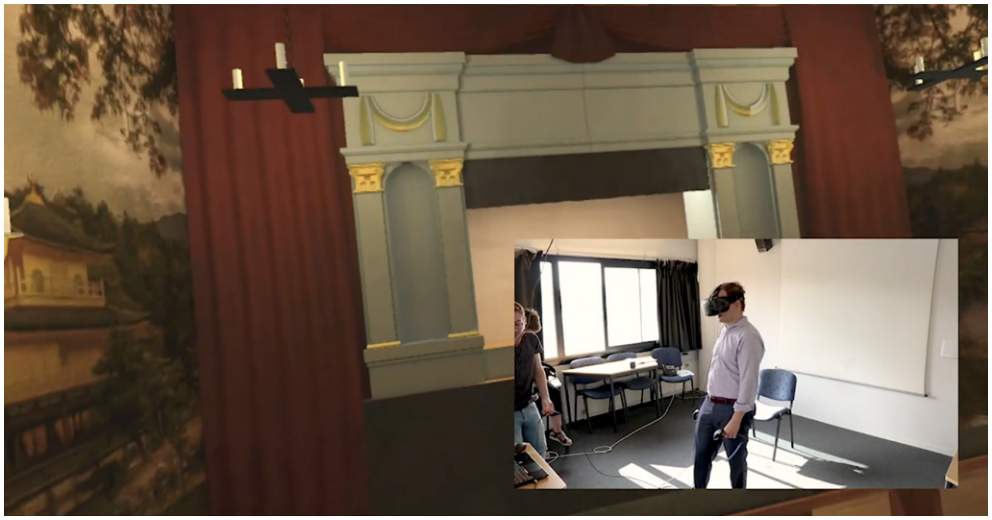


Fig. 114. Enregistrement simultané de l'image vue par l'expérimentateur et de sa position dans l'espace réel. Septembre 2018.

beaucoup moins gourmand en calcul de prendre les informations contenues dans ce fichier que de les recalculer.

Certains effets ne peuvent cependant pas être obtenus avec ce procédé : les reflets brillants et complexes dépendent en effet de la position de l'observateur dans l'espace et ne peuvent donc pas être calculés. Les éclairages variables sont également exclus de cette phase de *baking*. Pour cela, nous avons dû recourir à des matériaux directement dans Unity mais nous n'avons pas obtenu des résultats à la hauteur de ceux produits par V-Ray : ils sont néanmoins suffisamment bons pour que l'illusion de matériaux réels soit comprise par l'utilisateur.

Nous avons précédemment évoqué la problématique du nombre de faces dans un modèle 3D, qui influe grandement sur la fluidité de l'expérience en réalité virtuelle. Ainsi de nombreux objets ont été simplifiés pour le passage en réalité virtuelle : les faces non visibles ont été supprimées, des géométries adoucies, quelques détails peu visibles supprimés, etc. Le gain obtenu nous a permis d'ajouter des éléments mobiles dans la scène, notamment la flamme des bougies, qui permet de donner une dimension vivante à l'ensemble et augmente sensiblement l'impression de réalisme.

Enfin, concernant les possibilités de déplacement dans l'espace, nous avons eu recours aux outils développés par Valve Corporation[250] : Steam VR. Il s'agit d'un ensemble d'API[251] permettant de faire l'interface entre les outils de développement classique de Unity et le matériel spécifique des différents casques de réalité virtuelle qui existent. Pour cette première phase, nous avons choisi de mettre en place les commandes minimales permettant de se déplacer. Le système de casque que nous utilisons permet en effet à l'utilisateur de se déplacer librement et physiquement sur une surface d'environ 3 × 3 m, mais le théâtre dans lequel l'utilisateur est immergé est bien plus grand. Ainsi, nous devons déplacer l'aire de jeu dans le référentiel virtuel du théâtre afin d'explorer d'autres espaces. Pour cela, nous utilisons la métaphore de la téléportation : en appuyant sur une des touches des manettes, l'utilisateur peut viser un emplacement du modèle 3D sur lequel il souhaite se téléporter. La zone de déplacement de 3 × 3 m est donc à nouveau possible autour de cet emplacement. S'il est donc impossible avec ce système de parcourir d'une seule traite en marchant toute la salle, il est en revanche possible d'accéder à l'ensemble des espaces du théâtre, y compris ceux qui sont surélevés (comme les gradins du fond de la salle ou les coulisses du castelet). L'installation de ce dispositif nécessite de définir quelles sont les surfaces sur lesquelles il est autorisé de se téléporter : le sol de la salle

250 https://www.valvesoftware.com/fr/

251 *Application Programming Interface*, un ensemble de classes, de fonctions et de méthodes qui offrent des services à un programme tiers.

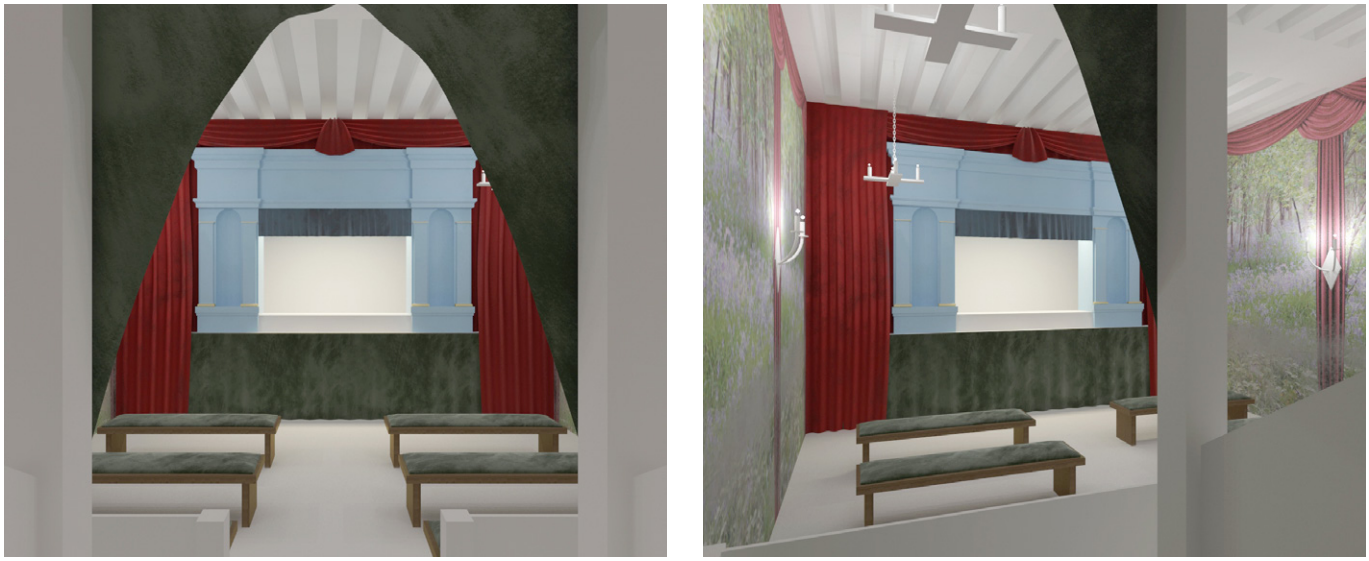


Fig. 115. Deux hypothèses pour l'entrée dans la salle : l'entrée centrée (à gauche) et l'entrée excentrée (à droite). Janvier 2018.

donc, mais également la surface supérieure des gradins, les coulisses et le pont des marionnettistes.

Une délimitation plus restrictive des zones dans lesquelles l'utilisateur peut se téléporter permettrait d'éviter un phénomène parfois indésirable : la possibilité de traverser des murs ou des éléments mobiliers de l'espace virtuel. Il est parfois troublant, en effet, d'avoir l'impression de sortir des limites du modèle et de flotter dans le vide (puisque seul le théâtre de marionnettes est modélisé, et non son environnement). Cependant, cette possibilité autorise une grande aisance dans la prise en main d'un système de contrôle parfois difficile à apprivoiser, et la possibilité de visualiser des détails de très près, parfois même depuis des points de vue non réalistes. Dans le cadre d'une utilisation par des experts de différents domaines, nous avons donc souhaité conserver un accès simplifié à l'ensemble du modèle.

Retours d'immersions

Notre méthodologie place l'immersion en réalité virtuelle au sein d'un processus cyclique qui vise à améliorer le modèle par l'intervention successive de différents experts d'histoire du théâtre, d'architecture et des arts de la scène. Le retour de ces experts participe à la production d'un modèle plus complet, grâce notamment à l'usage de cet espace en réalité virtuelle. Nous avons donc encouragé autant que possible les expériences permettant aux experts de se déplacer pour s'asseoir sur les bancs du parterre (en installant une chaise) ou de se mouvoir comme un marionnettiste dans les coulisses. Chaque séance d'immersion a fait l'objet d'un enregistrement vidéo montrant le déplacement de l'expérimentateur dans la réalité, ainsi qu'un enregistrement de l'écran de l'ordinateur permettant de sauvegarder également ce qui était vu en temps réel. En visualisant les deux flux vidéos simultanément, il nous est donc possible de comprendre ce à quoi les commentaires de chacun des experts s'appliquaient (*Fig. 114*).

Un des premiers retours d'usage concernait la position des bancs du parterre et de l'entrée de la salle. Nous avons précédemment évoqué que parmi les hypothèses proposées, l'une d'entre elle plaçait les bancs répartis de part et d'autre d'une allée centrale dans l'axe de la porte, elle aussi placée au centre. C'est en visualisant l'usage de cet espace, notamment par rapport au sacrifice des meilleurs places ainsi qu'aux badauds situés à l'extérieur du théâtre capables, dans une telle configuration, de visualiser la pièce sans avoir à débourser, que Jeffrey Leichman, professeur d'histoire

culturelle française du XVIII[e] siècle, nous a donc poussé à préférer placer l'entrée dans un coin de la salle (*Fig. 115*).

À mesure que nous avancions dans la restitution, il est également apparu que nous avions un éclairage irréaliste car trop puissant ce qui rendait la scène beaucoup trop éclairée et ne permettait pas de ressentir la variation lumineuse entre la salle et la scène. Ceci était dû non seulement à une puissance lumineuse trop importante pour chacune des bougies, mais également à des réglages atmosphériques non optimaux dans Unity qui rendaient la scène sur-éclairée. Avec le bon éclairage, on se rend compte de la pénombre qui remplissait alors la salle et donc des possibilités d'usage que cela permettait, tant en ce qui concerne les jeux scéniques qu'en ce qui concerne les intrigues possibles (et attestées !) au sein des spectateurs[252].

Nous devons également à une séance d'immersion de Françoise Rubellin les retours concernant les décors de la salle. Nous avions effectivement dans un premier temps réalisé un décor symétrique sur les murs droite et gauche, mais il a été justement remarqué qu'une telle disposition était peu probable. De même, nous jugions auparavant que les sculptures de chaque côté de la scène étaient de véritables sculptures, mais ce retour d'expert nous incite à y voir des peintures en trompe l'œil destinées à imiter la présence de ces muses.

Un des apports majeurs d'experts a été réalisé lors de la démonstration de notre système au colloque « Identité et circulation des spectacles forains : musique, théâtre, danse, acrobaties et marionnettes, 1660-1830 » en mars 2019. Lors de la deuxième journée se tenant dans les murs de l'Institut International de la Marionnette à Charleville-Mézières, nous avons en effet pu faire expérimenter le théâtre restitué à un marionnettiste (Alban Thierry de la Compagnie Zouak), des experts de la marionnette (Raphaèle Fleury), mais également aux étudiants de l'école, de futurs marionnettistes eux-mêmes. Les remarques obtenues furent extrêmement importantes du point de vue de l'usage de la pratique des marionnettes : il est ainsi apparu qu'en raison de la dimension des marionnettes utilisées, de la taille de la scène et du décor, un pont à l'arrière du castelet n'était pas nécessaire. De même, l'espace en coulisse manque d'éléments indispensables à un spectacle de marionnettes : il est nécessaire de pouvoir disposer celles-ci sur des supports dans l'attente qu'elles entrent sur scène. Enfin, la démonstration magistrale d'Alban Thierry a mis en évidence les potentiels de la réalité virtuelle pour la visualisation et la capture de mouvement : le masque sur les yeux il a agi spontanément comme s'il tenait dans ses mains les contrôles d'une marionnette, apportant des informations importantes sur les déplacements du marionnettiste dans un espace réduit et contraint.

Pour les utilisateurs non-marionnettistes, la finalité de cet espace restitué est parfois difficile à comprendre et c'est l'un des principaux retours que nous avons obtenus. C'est pourquoi il est rapidement apparu comme nécessaire de proposer un spectacle sur la scène.

Le projet d'un spectacle sur la scène

Pouvoir placer un spectacle de marionnettes sur la scène de ce petit théâtre restitué est en quelque sorte l'accomplissement de notre recherche dans la mesure où cela vient tester notre restitution par son usage. Cette démonstration a été rendue possible par la Nuit Blanche des Chercheurs 2020, à Nantes, qui nous a poussé à proposer, dans un environnement inédit, la restitution d'un spectacle de marionnettes au XVIII[e] siècle. Le projet consistait à filmer des marionnettes sur fond vert pour pouvoir ensuite les intégrer dans un décor restitué du XVIII[e] siècle. Cela signifie que la capture de l'image se ferait uniquement en deux dimensions et que nous ne

252 La modélisation du comportement des spectacteurs est un aspect clé du projet VESPACE sur lequel nous n'avons pas travaillé. Des ouvrages tels que les *Anecdote Dramatiques* de Clément et La Porte 1775 permettent de se faire une bonne idée de l'ensemble des comportements exceptionnels rencontrés dans les théâtres du XVIII[e] siècle.

Fig. 116. Captation image et son de Polichinelle contrôlé par Jean-Philippe Desrousseaux. Janvier 2020. (Photo : Françoise Rubellin)

pourrions obtenir le volume des marionnettes, ce qui était parfaitement adapté pour le type d'événement mais a priori peu adapté à la restitution en réalité virtuelle.

Le Théâtre Montansier de Versailles a eu la gentillesse de nous prêter trois marionnettes à tringle contemporaines mais réalisées dans un style qui aurait pu être celui du XVIII^e^ siècle, tandis que Jean-Philippe Desrousseaux a gracieusement accepté de jouer un court spectacle pour nous avec ces marionnettes. En concertation avec Françoise Rubellin, le début de la pièce *Polichinelle Censeur des Théâtres* écrite par Carolet en 1737[253] a été choisi. Cette pièce est particulièrement intéressante puisqu'elle montre la personnification de la Comédie-Française, de l'Opéra et de l'Opéra-Comique, tous trois tenant une conversation avec Polichinelle, représentant les spectacles forains de marionnettes. La pièce est une suite de dialogues entre Polichinelle et l'Opéra, puis Polichinelle et la Comédie-Française, puis enfin Polichinelle et l'Opéra-Comique. Or, un dialogue entre deux marionnettes à tringle nécessite deux marionnettistes quand nous n'avions accès qu'aux talents de Jean-Philippe Desrousseaux.

L'enjeu de la capture vidéo était donc de prendre l'image de chaque marionnette séparément et sur fond vert et de reconstituer après sur Adobe Premiere les interactions entre les personnages (*Fig. 116*). Nous souhaitions également pouvoir joindre à cette capture vidéo une capture sonore de qualité et avons donc fait appel à Mylène Pardoen[254], archéologue du paysage sonore et spécialiste du son, pour nous aider dans cette tâche. Les intonations précises de Jean-Philippe Desrousseaux, autant que les bruits des pas des marionnettes sur la scène ont donc pu être enregistrées, participant grandement au sentiment d'immersion.

253 L'édition du manuscrit (BnF ms.fr.9315, f^os^ 421-424) est en ligne sur Cethefi.org, onglet « Ressources » puis « Documents inédits ».

254 Nous remercions chaleureusement Mylène Pardoen et Joachim Poutarau pour leur prise de son ainsi que pour le traitement effectué *a posteriori* sur ces fichiers sonores pour nous les rendre utilisables.

CHEZ B

Fig. 117. Vue de la salle de théâtre de marionnettes restituée, intégrant les modifications suggérées par les experts, depuis la séparation du parterre.

Fig. 118. Le castelet avec le décor conçu et les marionnettes (Polichinelle à gauche, l'Opéra à droite) pour *Polichinelle Censeur des Théâtres*. Février 2020.

Une fois les prises vidéos et sonores réalisées, il restait à pouvoir restituer la totalité des interactions et de les intégrer dans un décor convaincant. En effet, la miniature de Louis-Nicolas Van Blarenberghe représente une scène d'une toute autre pièce alors que Carolet précise laconiquement au début de son manuscrit *Polichinelle Censeur des Théâtres* :

> La scène se passe aux marionnettes.

Or, le texte se présente clairement comme une intervention de Polichinelle avant même que le spectacle ne commence et le décor qui conviendrait est donc une façade de castelet fermée. Nous avons donc proposé un décor de mise en abyme en reprenant le castelet modélisé vu de face et en lui appliquant un effet de peinture, nous avons ainsi créé un décor. Pour insister sur le castelet de marionnettes, nous avons écrit en lettres d'or sur le fronton « Chez Bienfait ». Nicolas Bienfait était en effet un marionnettiste réputé du début du XVIII[e] siècle qui joua notamment des pièces de Carolet, en 1737[255]. De part et d'autre de ce fond de scène, nous avons figuré avec la même technique les gradins de l'amphithéâtre du fond de la salle.

Dans Unity, nous avons ensuite pu intégrer ces éléments de décor en lieu et place du décor précédent reprenant les grandes lignes de l'image de Van Blarenberghe. Nous avons également pu intégrer la vidéo préparée avec un fond transparent et la placer sur la scène. Le décor et les marionnettes ne sont donc pas sur le même plan, ce qui diminue l'impression de regarder, en réalité virtuelle, un écran. De même, nous avons pu faire en sorte que le son de la vidéo diminue de manière sensible à mesure que l'on s'éloigne de la scène, et ce pour restituer l'acoustique défavorable des places du fond de la salle. Globalement, cette solution a donc l'avantage de permettre de visualiser ce qui se passait sur la scène, sans avoir recours à des technologies

255 Campardon 1877, « BIENFAIT (Nicolas I) ».

complexes de capture du mouvement des marionnettes et de modélisation de ces marionnettes en trois dimensions.

Les retours d'experts sur l'impact de cette insertion dans la scène manquent[256], mais la réalisation même de cette vidéo a permis d'approcher de plus près les techniques de manipulation de marionnette, le placement et la conception de décors et le choix du texte. Ce sont autant d'éléments qui rentrent dans l'usage de ce lieu et viennent donc apporter à notre restitution une crédibilité supplémentaire.

Globalement, les interactions des experts en réalité virtuelle font apparaître les points fort de ce dispositif pour la restitution historique, à savoir un très haut degré d'engagement, la possibilité d'avoir accès rapidement à des connaissances précises et parfois tacites, et également la facilité de communication entre spécialistes de disciplines diverses. À ce stade, nous avons cependant remarqué des manques importants dans notre capacité à enregistrer ces connaissances mais également à restituer les connaissances ayant servi à la restitution de la maquette numérique. Pour cela, nous devions mettre en place de nouveaux outils. C'est ainsi que nous avons développé l'outil PROUVÉ.

256 La mise au point de cette version a en effet eu lieu au début de l'année 2020 et devait faire l'objet d'une démonstration avec retours d'utilisateurs lors du colloque international des dix-huitièmistes de Saint-Louis, aux États-Unis. La crise sanitaire de 2020 a malheureusement empêché la réalisation de cette expérimentation auprès d'experts.

Un outil : PROUVÉ

Chapitre VI

La difficulté de la visite en réalité virtuelle vient principalement de la superposition, pour l'utilisateur, de deux réalités : la première, celle que l'on expérimente tous les jours et qui est tangible, et la seconde, recréée autour d'un projet de restitution. Or, pour pouvoir réagir, commenter, comprendre et analyser la restitution historique en réalité virtuelle, l'utilisateur doit réaliser d'incessants allers et retours entre ces deux réalités. Ce passage impose des contraintes physiques (il s'agit par exemple d'enlever et de remettre le casque de réalité virtuelle), mais également des contraintes intellectuelles, puisque se réhabituer aux deux mondes nécessite un effort non négligeable. Lors de la phase de recherche, donc, les principaux manques concernent la possibilité de travailler en réalité virtuelle sans en sortir. Pour le grand public et la communauté scientifique, il s'agit de permettre la compréhension des enjeux de la restitution et les méthodes scientifiques utilisées sans devoir quitter le casque. Ces objectifs, nous les détaillerons dans une première partie.

À partir de ce constat, nous avons mis en place un outil, nommé PROUVÉ, (« Extensions Unity et Omeka pour le Patrimoine en Réalité Virtuelle », les lettres sont dans le désordre) proposant une solution aux manques précédemment soulevés. Il s'agit principalement de mettre en place une base de données patrimoniale avec l'outil Omeka, capable de contenir toutes les informations utilisées lors de la restitution, et d'en permettre à la fois la consultation et la complétion lors d'une immersion en réalité virtuelle. Nous expliciterons les choix techniques qui ont permis la réalisation de cet outil ainsi que son fonctionnement et son interface dans une deuxième partie.

PROUVÉ se charge également d'enregistrer les données de télémétrie associées à une expérience en réalité virtuelle. Ces données, enregistrées de manière régulière lors de l'utilisation du dispositif comprennent des éléments qui sont utiles à la fois pour le diagnostic du dispositif lui-même et pour la conception du modèle tridimensionnel. Au cours d'une expérience immersive sont ainsi enregistrés le flux audio, la position de l'utilisateur dans l'espace virtuel, la direction de son regard et d'autres informations complémentaires. Nous détaillerons les dispositifs de télémétrie, tant du point de vue des méthodes de captation que de leur usage potentiel, dans une troisième partie.

Enfin, nous mettrons en évidence l'intérêt de PROUVÉ dans le cadre restreint du théâtre de marionnettes qui a servi d'environnement de test des capacités de ce nouvel outil. Nous expliciterons les choix réalisés pour les documents accessibles dans la base de données, mais également les retours obtenus des utilisateurs de ce système.

Concepts et objectifs

Publics et attentes

Lors de nos différentes expérimentations, nous avons mis en évidence sept besoins essentiels que devrait pouvoir couvrir un outil numérique permettant une meilleure intégration de la réalité virtuelle dans le cycle de la recherche. Ces besoins sont les suivants :

— pouvoir consulter les sources ;
— faire de nouvelles découvertes ;
— annoter le modèle ;
— produire de nouvelles données ;
— être le support d'une théorie ou d'une démonstration ;
— être ludique ;
— pouvoir guider l'utilisateur dans sa visite.

Dans la suite de cette partie, nous reprendrons donc ces objectifs afin d'en détailler la nature et les solutions que nous comptons y associer par la suite. Pour chacune des attentes, nous préciserons également lesquels de nos publics cibles elle concerne. Rappelons ici que nous avons identifié trois publics : les chercheurs produisant la recherche, la communauté scientifique dans son ensemble lors de phases de diffusion de la recherche et le grand public lors des opérations de médiation (ci-après respectivement « production », « diffusion » et « médiation »).

Pouvoir consulter les sources

L'intérêt de la consultation des sources est pour nous majeur. Il s'agit de permettre, en immersion, un accès aux documents utilisés pour la réalisation du modèle 3D dans lequel l'utilisateur est immergé. Grâce à cet accès, nous entendons pouvoir expliciter non seulement les hypothèses qui ont été élaborées mais également donner du crédit à l'image perçue.

En effet, en visualisant une source, l'utilisateur peut prendre conscience de la différence qui existe entre celle-ci et l'interprétation qui en est faite au sein du modèle restitué. Pour s'en convaincre, imaginons que la source utilisée pour une restitution soit un vestige archéologique montrant les fondations d'un bâtiment, alors même que l'utilisateur est virtuellement dans un bâtiment entièrement restitué, du sol au plafond. En visualisation les vestiges, il apparaît alors immédiatement ou presque, par contraste, que les parties restituées le sont de façon hypothétique. En gardant à l'esprit la même restitution, les parties restituées pourraient également afficher des sources différentes (comme des bâtiments semblables ou des descriptions historiques) ce qui donnerait du crédit aux hypothèses de restitution retenues.

De manière générale, il s'agit de pouvoir donner à la restitution virtuelle un outil qui puisse s'apparenter, dans le monde des publications scientifiques, à la note de bas de page. Comme cette dernière, c'est une information que l'on peut consulter si on le souhaite, mais dont il est possible de se passer. Cela définit donc deux niveaux de lecture ou d'expérimentation de l'immersion en réalité virtuelle : un premier permettant de profiter de la restitution elle-même, un second permettant de comprendre les choix et hypothèses qui sont à l'origine du modèle visualisé.

L'existence de ces différents niveaux de lecture est un concept que nous empruntons à Jeffrey Leichman qui le nomme *Image Depth*, « profondeur de l'image ». En ajoutant un niveau d'information supplémentaire à l'image, une dimension supplé-

mentaire donc, nous pouvons donner une véritable profondeur à cette image, non spatiale, mais théorique et scientifique. Selon les propres mots de Jeffrey Leichman :

> Each of these innovations [perspective, photography and cinema] in the technology of illusion has changed the understanding of human perception and its relationship to what we understand as truth; virtual reality has the potential to do the same, and as humanities researchers working in this medium we feel an ethical and intellectual obligation to contribute to the critical understanding of this powerful tool. This is what motivates our guiding design principle, "image depth," which seeks to create the conditions for a critical engagement with the illusionistic environment of virtual reality re-constitutions[1].

Un des enjeux de la réalisation d'une interface de consultation des sources en réalité virtuelle est de trouver une métaphore visuelle qui indique à l'utilisateur que des informations supplémentaires sont disponibles sur les éléments qui composent l'environnement virtuel. En effet, il convient de trouver une solution qui n'empiète pas sur le sentiment de présence dans l'environnement : à titre d'exemple volontairement grossier, de grandes flèches indiquant les éléments sur lesquels des informations sont disponibles viendraient perturber la compréhension globale de l'espace. Une solution idéale est simplement l'existence d'informations supplémentaires sur la totalité des objets de la scène : l'utilisateur sait alors que quel que soit l'objet qui l'intéresse, il sera en capacité d'obtenir des informations. Évidemment, si une telle démarche est alléchante, elle impose de posséder des informations pertinentes sur tous les objets de la scène. Nous verrons dans la suite comment nous avons résolu ce dilemme dans l'interface utilisateur de PROUVÉ.

La capacité de consulter les sources associées à un modèle est essentielle pour l'ensemble des publics (production, diffusion et médiation). En revanche, les informations affichées pour chacun de ces publics peuvent être légèrement différentes.

Faire de nouvelles découvertes

Faire de nouvelles découvertes est l'essence même de la recherche et cet objectif pourrait donc être donné à tout outil destiné au monde académique. Dans le cadre de l'immersion en réalité virtuelle, nous pensons que ces nouvelles découvertes sont principalement liées à plusieurs facteurs. Premièrement, elles sont liées à la possibilité d'adopter un nouveau point de vue, littéralement, sur un sujet d'étude en permettant de se déplacer et d'expérimenter un espace restitué. Deuxièmement, elles sont liées à l'usage même de la troisième dimension, c'est-à-dire à l'usage d'un langage *a priori* naturel qui permette d'entreprendre un travail multi-disciplinaire et donc d'enrichir le point de vue de chacun par des connaissances d'autres chercheurs et domaines.

Nous pensons qu'il est essentiel de permettre un déplacement réaliste de l'utilisateur dans l'espace virtuel permettant d'expérimenter le lieu à la manière d'un usager et donc d'adopter de nouveaux points de vue. Notre moyen pour faire de nouvelles découvertes est ainsi de permettre le déplacement en tenant compte de la disposition de l'espace restitué. Notons dès à présent que d'autres possibilités ont été envisagées par nous ou par d'autres : point de vue extérieur à l'objet, déplacement libre dans l'espace y compris en hauteur, usage de dispositifs permettant de révéler certains as-

1 Leichman et Rubellin 2018, que nous proposons de traduire par :

> Chacune de ces innovations [la perspective, la photographie et le cinéma] dans la technologie de l'illusion a modifié la compréhension de la perception humaine et sa relation à ce que nous comprenons comme vérité ; la réalité virtuelle a le potentielle de faire la même chose, et en tant que chercheurs en sciences humaines travaillant avec ce media, nous ressentons une obligation éthique et intellectuelle à contribuer à la compréhension critique de ce puissant outil. C'est ce qui motive notre principe de conception de base, « image depth », qui ambitionne la création de conditions pour un engagement critique avec l'environnement illusionniste des restitutions en réalité virtuelle.

pects du modèle (lumière rasante, par exemple). Nous n'avons pas souhaité aller plus en avant dans cette direction, afin de nous concentrer sur d'autres outils.

Pour faire de nouvelles découvertes, le travail de l'historien consiste également à comparer le modèle réalisé avec des sources (sous la forme de textes, de plans ou d'images par exemple). Il convient donc de pouvoir accéder simultanément au modèle tridimensionnel et de le comparer en temps réel avec des sources historiques. Si cette ambition rejoint évidemment la précédente, il s'agit néanmoins cette fois de rendre cette consultation possible depuis n'importe quelle position dans l'espace virtuel. Typiquement, un utilisateur doit être capable de comparer une photographie issue de la base de données à la restitution en cherchant puis en adoptant le même point de vue. Pour faciliter cette tâche, nous souhaitons en effet nous limiter aux documents contenus dans la base de données, tout en étant parfaitement conscient que le processus de recherche historique comprend également la recherche de nouveaux documents. Il serait donc tout à fait possible qu'immergé dans la réalité virtuelle, un chercheur ait l'idée de comparer le modèle avec un document qui ne serait pas encore dans la base de données. Ce cas de figure ne fait pas partie du cahier des charges de la première version de PROUVÉ[2].

Concernant le public de cette fonction, elle est avant tout destinée aux acteurs de la production du savoir, mais les chercheurs associés à une phase de diffusion pourront également en profiter tandis que le public pourra trouver un intérêt occasionnel dans cette possibilité.

Annoter le modèle 3D

L'annotation de modèles tridimensionnels est une thématique de recherche particulièrement active qui permet d'ajouter des informations sur les objets 3D lors de l'interaction d'un utilisateur avec cet objet. Typiquement, il s'agit de désigner un objet ou une partie et d'y attribuer un commentaire dont le destinataire peut être variable. Un chercheur pourra en effet laisser un commentaire afin de mener à l'amélioration du modèle 3D, ou bien afin d'en préciser l'interprétation à destination d'autres utilisateurs. Le public cible serait donc respectivement l'utilisateur lui-même ou les chercheurs qui conçoivent le modèle tridimensionnel, ou l'ensemble des utilisateurs du dispositif, qu'ils soient issus des groupes production, diffusion ou médiation.

Nous souhaitons que ce système soit le plus transparent possible pour l'utilisateur. En effet, il est déjà possible pour celui-ci d'obtenir des informations sur un objet en particulier et nous tenons à limiter au maximum les manipulations d'interface pour permettre un apprentissage rapide du système auprès de publics qui ne sont pas toujours habitués à la manipulation de l'outil informatique, et *a fortiori* de la réalité virtuelle. L'enregistrement des annotations devra donc se faire de la manière la plus directe possible en limitant le recours à des interfaces.

Quant au public concerné par l'annotation du modèle 3D, nous pensons qu'il s'agit principalement du public de production, pour lequel la consultation du modèle et son amélioration constituent l'essentiel du travail. Il est cependant possible de laisser au public de diffusion accès à cette fonction. Quant au grand public, la multiplicité des acteurs concernés (qui peuvent atteindre plusieurs centaines d'individus en une journée lors d'événements de vulgarisation) et leur niveau moyen de connaissances sur un sujet historique particulier ne rendent pas pertinent leur accès à ce type de fonction.

2 Il n'est possible d'avoir accès en réalité virtuelle qu'à des ressources numérisées. Dès lors, nous n'imaginons pas qu'il soit possible dans des délais raisonnables pour un chercheur d'avoir l'idée d'un document (qui ne soit pas forcément numérisé) et que dans le temps de son immersion une version numérique soit créée par un autre utilisateur non immergé, transférée à l'outil, et affichée à l'utilisateur.

Produire des nouvelles données nativement numériques

Les données nativement numériques sont les « traces, données, documents et artefacts issus directement du contexte numérique, et pouvant acquérir une valeur de source pour le chercheur en SHS »[3]. Dès lors, la restitution tridimensionnelle est déjà une donnée nativement numérique, puisque bien que s'appuyant sur des sources principalement analogiques, elle est issue directement d'un contexte numérique en étant conçue sur ordinateur. Nous entendons donc nous intéresser non pas à la maquette numérique elle-même, mais aux données qui sont produites lors de l'usage de cette maquette. L'annotation de modèle fait partie de ces données nativement numériques, mais d'autres données peuvent être produites lors de l'utilisation d'un système d'immersion en réalité virtuelle. Il s'agit notamment des données de télémétrie, c'est-à-dire des données enregistrées et rendant compte de l'utilisation du système : position de l'utilisateur dans l'espace, direction du regard, actions réalisées, mais aussi comportement anormaux du logiciel ou *log*[4] de celui-ci.

L'intérêt de la production de ces données réside dans la possibilité d'effectuer des analyses sur celles-ci *a posteriori* et pour un grand nombre d'utilisations. Il s'agit donc de pouvoir répondre à des questions qui intéressent autant le domaine de la muséographie numérique (quels sont les éléments qui intéressent le plus les utilisateurs ?) que de l'étude des usages dans un espace contraint (quels sont les parcours préférés que pouvaient emprunter les utilisateurs du passé ?).

La production de ces données concerne tous les utilisateurs suivant les traitements que l'on espère pouvoir effectuer sur celles-ci. Pour un public « production », les données refléteront les connaissances d'experts vis-à-vis de l'espace, tandis que pour un public « médiation », elles refléteront les caractéristiques d'une population moyenne.

Être le support d'une théorie ou d'une démonstration

La publication scientifique traditionnelle, qu'il s'agisse d'un article ou d'une monographie, est le support d'une théorie ou d'une démonstration : l'auteur de l'article y expose, dans le respect de la méthode scientifique, ses arguments en faveur d'une théorie. La forme de ces productions scientifiques est particulièrement codifiée, de telle sorte qu'un lecteur peut rapidement connaître les objectifs de l'auteur dans son discours. La lecture de l'ensemble de la publication permet ensuite de comprendre quels sont les arguments qui permettent d'étayer cette théorie ou cette démonstration.

Il n'existe pas de telle forme définie pour le partage d'expériences d'immersion virtuelle, si bien qu'il n'est pas aisé pour l'utilisateur de comprendre les objectifs des créateurs de l'expérience en terme de diffusion scientifique ou de médiation. La théorie ou la démonstration est cachée à l'utilisateur ce qui peut mener à de nombreux biais et nous paraît ne pas convenir à l'honnêteté intellectuelle d'un travail scientifique. Il doit donc être possible pour l'utilisateur d'avoir accès aux données définissant clairement les méthodes de travail et les thèses soutenues par les auteurs de la restitution virtuelle qui ont influé sur la création du modèle numérique.

Le corollaire de cela autorise à considérer la restitution immersive en réalité virtuelle comme un moyen adéquat de partage et de diffusion de la connaissance scientifique. Un propos pourrait donc être conçu, développé et partagé sur une telle plateforme avec la même force que lors de l'écriture d'un article ou d'une monographie.

3 Paloque-Berges 2016.

4 En informatique, un *log*, au sens de journal de bord, est le fichier contenant l'historique des événements que le programmeur aura souhaité consigner lors de l'exécution.

Dès lors, le public cible pour cette fonction est à la fois la communauté scientifique (le public « diffusion ») et le grand public de manière générale (le public « médiation »).

Être ludique

La force d'un produit ludique réside dans ses capacités à stimuler l'engagement des utilisateurs et c'est tout l'intérêt des *serious games* qui sont particulièrement présents dans les domaines de l'histoire. Il existe bien sûr de nombreuses façons de susciter de l'amusement chez l'utilisateur, et en ce sens la réalité virtuelle possède l'immense avantage d'être en soi, par l'impression de nouveauté technologique qu'elle intègre, un instrument ludique. Tant les chercheurs que le grand public trouvent ainsi du plaisir à vouloir tester ce type de matériel, d'autant qu'il transporte littéralement dans un autre monde virtuel et touche donc par la même occasion au plaisir du voyage.

Si le côté ludique d'une expérience en réalité virtuelle est créé principalement par le contenu et l'action qui prennent place dans le monde virtuel plutôt que par les outils d'interface comme PROUVÉ, nous pensons que ces derniers ont un rôle à jouer. Il s'agit de limiter autant que possible la gêne occasionnée par le système pour les utilisateurs expérimentant d'abord une trame narrative ludique (comme dans un *serious game*), tout en autorisant toujours les fonctions prévues. Le problème est donc plus une question d'interface que de possibilités logicielles.

Il est tentant de limiter les besoins d'un aspect ludique au seul grand public. Néanmoins, il serait probablement faux de penser que les chercheurs (public production et public diffusion) ne sont pas sensibles à cette dimension et qu'elle n'influe que sur l'engagement du public de médiation. En se concentrant sur le grand public, nous pouvons donc rendre l'expérience beaucoup plus intéressante pour l'ensemble des utilisateurs de ce dispositif.

Permettre une visite guidée

Les expériences menées avec un casque de réalité virtuelle montrent que face à un nouveau monde virtuel qu'il ne connaît pas, l'utilisateur se sent souvent particulièrement perdu et attend d'être guidé dans l'environnement. À l'image de la visite d'un musée où la multiplicité des œuvres peut perdre le visiteur qui ne serait pas guidé, l'immersion en réalité virtuelle nécessite un guide. Un tel guidage peut prendre plusieurs formes, il s'agit traditionnellement d'une personne physique accompagnant à la voix un utilisateur dans l'environnement virtuel, mais la superposition pour l'utilisateur de *stimuli* venant à la fois du monde réel et du monde virtuel est source de confusion (toucher un utilisateur immergé peut créer par exemple un sentiment de peur).

D'autres moyens sont possibles, reprenant ou non la métaphore du guide de musée : un avatar virtuel, un parcours matérialisé dans la réalité virtuelle, la sélection de plusieurs thématiques permettant d'être emmené d'un élément à l'autre de l'environnement virtuel, etc. Ces questions font apparaître des considérations qui dépassent souvent la simple expérience d'un lieu virtuel, il s'agit à la fois de la conception d'une muséographie en réalité virtuelle, mais également d'une expérience qui commence avant de rentrer dans l'espace virtuel à visiter, et même avant de mettre un casque de réalité virtuelle.

Cette question du guidage de la visite concerne principalement les publics diffusion et médiation, qui sont les plus désorientés ou dépaysés en rentrant dans cet environnement inconnu. Pour ces publics, le guide fournit un récit inhérent à la diffusion et à la médiation tandis que le public production est sensé connaître les composants de l'espace et donc s'y sentir moins perdu.

Il est possible de résumer les fonctions attendues pour l'outil développé en fonction des publics dans le tableau suivant :

Fonction	Public « Production »	Public « Diffusion »	Public « Médiation »
Consulter les sources	✓	✓	✓
Faire des découvertes	✓		
Annoter l'environnement	✓		
Produire de nouvelles données nativement numériques	✓	✓	
Être le support d'une théorie ou d'une démonstration		✓	✓
Être ludique			✓
Permettre une visite guidée		✓	✓

Table 5. Types de fonctions attendues pour PROUVÉ pour chaque public.

Capture des connaissances tacites

Les connaissances tacites

L'intérêt de l'usage de la réalité virtuelle dans le processus de recherche historique ou archéologique réside selon nous dans la possibilité d'avoir accès, grâce à ce système, aux connaissances tacites de l'utilisateur. La notion de connaissance tacite est née au début des années 1990 et a depuis été reprise dans les méthodes de *knowledge management* qui sont appliquées dans l'industrie. On doit les premiers travaux sur les connaissances tacites à Ikujiro Nonaka dans son article de 1991, *The Knowledge Creating Company*[5] (L'entreprise créatrice de connaissance). Quelles sont donc ces connaissances tacites, et comment les cerner ? Pour répondre à cette question, nous pouvons reprendre les propres mots de Ikujiro Nonaka :

> The starting point of Tanaka's[6] innovation is another kind of knowledge that is not so easily expressible: « tacit » knowledge […]. Tacit knowledge is highly personal. It is hard to formalize and, therefore, difficult to communicate to others. Or, in the words of the philosopher Michael Polanyi, « We can know more than we can tell ». Tacit knowledge is also deeply rooted in action and in an individual's commitment to a specific context - a craft or profession, a particular technology or product market, or the activities of a work group or team[7].

Selon Nonaka, les connaissances tacites serait également des compétences techniques et des savoir-faire, donc plutôt associées à l'action. Dans le même temps, elles seraient également associées à une dimension cognitive, comme des modèles mentaux ou des croyances profondément ancrées dans la manière de penser de chacun.

5 Nonaka 1991.

6 Ikuko Tanaka est une développeuse informatique qui utilisa la connaissance tacite d'un boulanger pour permettre d'améliorer le pain produit par des machines à pain à destination des particuliers.

7 Extrait que l'on peut traduire comme :

> Le point de départ de l'innovation de Tanaka est un autre type de connaissance que l'on ne peut exprimer facilement : les connaissances tacites. Les connaissances tacites sont hautement personnelles. Elles sont difficiles à formaliser et donc difficiles à communiquer aux autres. Ou, comme le dit le philosophe Michael Polanyi « On peut savoir plus que ce que l'on peut dire ». La connaissance tacite est également profondément ancrée dans l'action et dans l'engagement d'un individu dans un contexte spécifique : un métier artisanal, une technologie particulière ou un marché, ou les activités d'un groupe de travail ou d'une équipe.

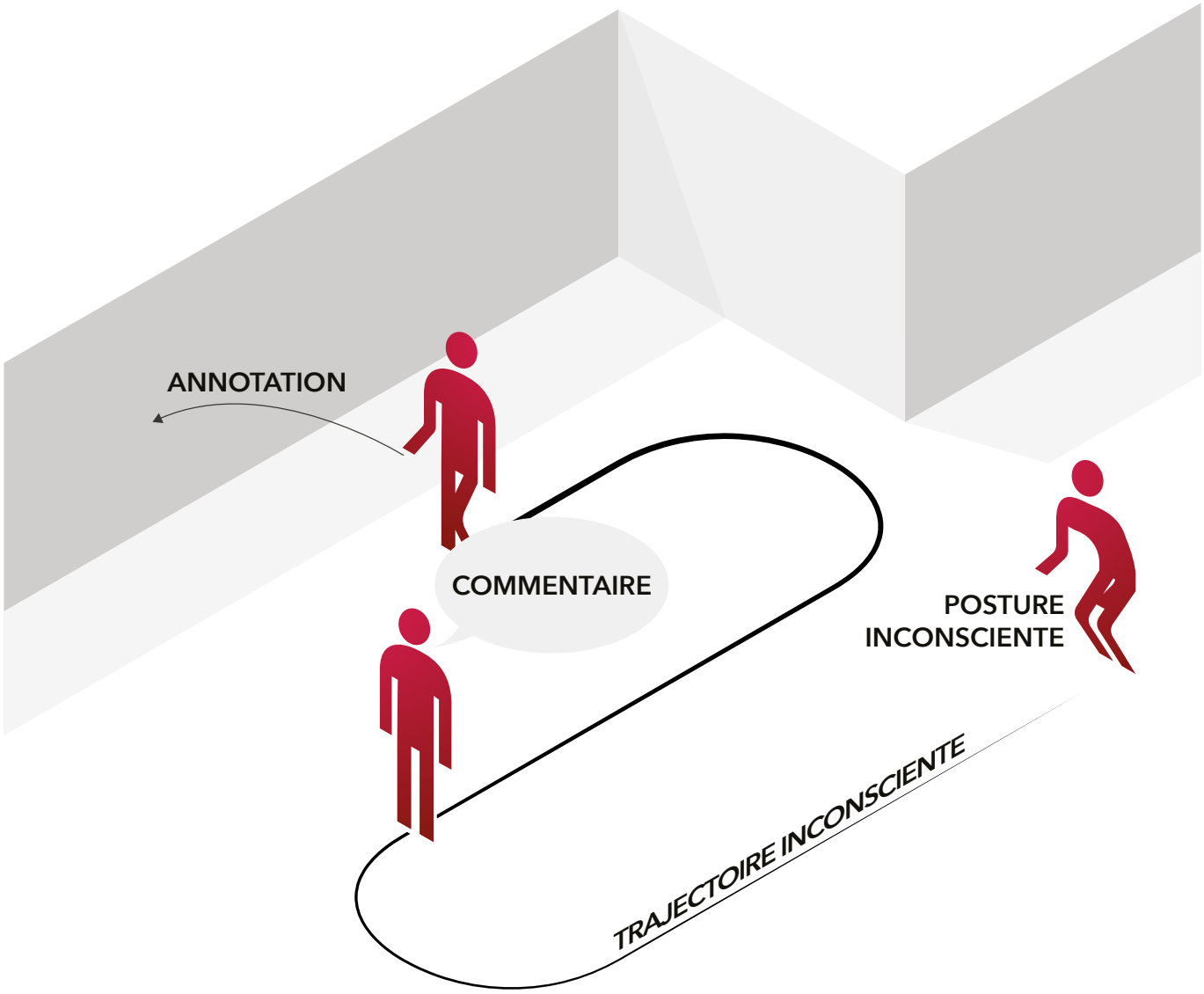


Fig. 119. **Moyens d'expression des connaissances tacites en réalité virtuelle.**

On voit bien que cette définition avec les concepts qu'elle recouvre est particulièrement adaptée à décrire des processus de création et de management de la connaissances dans les entreprises de produits manufacturés. Elle est néanmoins également adaptée, c'est notre hypothèse, au domaine de la recherche en sciences humaines, et particulièrement dans le domaine de l'histoire et de l'archéologie et nous en ferons la démonstration dans l'application de nos outils. En effet, lorsque l'historien, l'archéologue ou l'expert de manière générale passe des années à travailler son sujet, il acquiert certains automatismes qui ont une influence non seulement sur le système cognitif (la capacité à reconnaître la période d'une œuvre d'art par exemple), mais également sur l'ensemble du corps (la posture que l'on avait en société dans une certaine période de l'histoire par exemple).

Le problème de ces connaissances tacites réside principalement dans la difficulté à les transmettre sous forme de connaissances « explicites » qui pourraient être facilement assimilables par d'autres, et *a fortiori*, enregistrées. Or, dans le cadre de la rétro-architecture, elles ont un intérêt non négligeable puisqu'elles peuvent permettre à la fois d'améliorer le modèle en profitant des connaissances d'un expert et d'en renseigner les usages. Ces connaissances tacites, outre qu'elles doivent pouvoir être utilisées par les chercheurs lors de la conception du modèle, devraient donc également pouvoir figurer comme une source du modèle, et donc accessible à l'ensemble

de ses utilisateurs. La question de leur enregistrement et dans une moindre mesure de leur restitution est alors importante.

Expression et capture des connaissances tacites en réalité virtuelle

En réalité virtuelle et dans le cas des restitutions historiques ou archéologiques, les connaissances tacites s'expriment de différentes manières (*Fig. 119*).

1°) Il s'agit dans un premier temps de l'expression verbale qui peut apparaître sous plusieurs formes :

— le commentaire conscient et spécifique à un objet de l'environnement virtuel ;
— le commentaire inconscient qui est inspiré par tout ou partie de ce même environnement.

Pour la première catégorie, ce type de commentaire se rapproche très fortement du processus d'annotation, qui demande traditionnellement d'isoler une partie de l'environnement avant de lui faire correspondre une note orale ou écrite. Pour la seconde en revanche, puisqu'elle peut concerner des éléments intangibles (ou plus précisément dans le cadre de la réalité virtuelle, des éléments qui ne sont pas des objets), l'expression des connaissances tacites nécessite une interprétation du discours dans sa globalité, et donc son enregistrement dans cette même globalité. Cependant, l'audio ou sa retranscription n'est pas suffisant puisque la connaissance désigne autant une partie du discours que des éléments de l'environnement virtuel auxquels ils se rattachent ou qui ont pu le provoquer : il est donc nécessaire de connaître l'emplacement et ce que voit l'utilisateur pendant ses commentaires.

2°) Les connaissances tacites peuvent également s'exprimer dans la trajectoire que prend l'utilisateur dans la réalité virtuelle. L'expression la plus évidente de ces connaissances tacites dans ce domaine est la volonté de l'ensemble des utilisateurs à vouloir contourner des objets (ce qui n'est pas nécessaire en réalité virtuelle, puisque ces objets ne sont pas physiquement présents). S'il ne s'agissait que de cela, l'enregistrement des trajectoires n'apporterait aucune information intéressante, mais on sait que certains lieux appellent par exemple à des pratiques singulières en manière de circulation ou d'accès. Pour s'en convaincre, il suffit de penser à la manière dont la circulation est souvent régie par des codes dans les lieux de culte : que ce soit dans les circulations dans les églises, l'injonction à ne pas tourner le dos au Mur des Lamentations ou la trajectoire circulaire autour de la Kaaba à La Mecque. Dans une moindre mesure, des usages similaires existent dans de très nombreux lieux et sont également l'expression d'une connaissance tacite (par exemple, le public ne doit pas monter sur la scène au théâtre). L'enregistrement de la position de l'expert permet donc d'analyser ces trajectoires et d'identifier les mœurs éventuelles dont elles peuvent être l'expression.

3°) De manière similaire, les connaissances tacites peuvent également s'exprimer dans des postures. Il ne s'agit plus alors de l'emplacement du corps dans l'espace, mais de l'emplacement des membres du corps les uns par rapport aux autres : la posture. À cette posture on peut relier la notion de geste, qui prend bien sûr une place particulièrement importante dans les métiers liés à l'art ou à l'artisanat. Pour reprendre le contexte du théâtre de marionnettes, on pourra ainsi s'intéresser non seulement à la posture du marionnettiste (comment son corps se place dans le castelet, par exemple) mais également à ses gestes (comment il manipule les marionnettes).

La réalité virtuelle permet une capture, une sauvegarde aisée des commentaires, qu'ils soient conscients ou non, et des positions. Il suffit pour cela d'enregistrer le flux audio et la position de la caméra ainsi que son orientation à chaque instant (à partir de laquelle on peut déduire la position de la tête de l'utilisateur). En revanche l'enregistrement de la posture et de la gestuelle nécessite de mettre en place d'autres systèmes de suivi de mouvement. Si des dispositifs de suivi n'utilisant par de capteurs

à placer sur l'utilisateur existent (on pense notamment au Kinect de Microsoft qui limite néanmoins l'amplitude des déplacements de l'utilisateur) la plupart nécessitent de placer des capteurs sur l'utilisateur et se montrent donc particulièrement invasifs. Dans le cadre des informations relatives aux postures que nous pensions pouvoir obtenir des experts dans le contexte particulier des travaux que nous avons menés, il a semblé disproportionné d'avoir recours à ce type de dispositif qui aurait même pu se montrer contre-productif en brisant le naturel de nos expérimentations. En revanche, pour d'autres cas d'études où la gestuelle joue un rôle majeur, ce type de solution pourrait être envisagé. Par exemple, la pratique du marionnettiste se base sur un ensemble de mouvements précis et coordonnés. Nous avions étudié la possibilité d'avoir recours à l'enregistrement des mouvements par un système de tracking, mais la vitesse et la précision des gestes de même que la difficulté d'appareillage des doigts et des marionnettes nous a orienté vers des méthodes plus simples mais moins complètes de numérisation.

Fonctionnement technique

Pour répondre aux objectifs que nous nous sommes fixé, nous avons mis au point un ensemble d'extensions nommé PROUVÉ (Extensions Omeka et Unity pour le Patrimoine en Réalité Virtuelle). L'enjeu principal de cet outil est notamment de permettre l'accès aux sources et aux documents associés à une maquette que l'on peut visiter en réalité virtuelle depuis la phase d'immersion. Les autres enjeux précédemment évoqués viennent ensuite s'ajouter à cette fonction principale. Pour ce faire, le module repose sur une base de données, dans laquelle sont stockées toutes les informations et sources relatives à un modèle virtuel, située sur un serveur distant, et d'une interface logicielle apparaissant lors de la visite réalité virtuelle côté client. PROUVÉ a donc pour but de faire l'interface entre le fonctionnement côté client et le fonctionnement côté serveur.

Vue d'ensemble

L'architecture nécessaire au fonctionnement de PROUVÉ est la suivante : un serveur sur lequel est installé une base de donnée Omeka et un modèle virtuel placé dans le logiciel Unity avec le plugin Steam VR (permettant la prise en charge des contrôles en réalité virtuelle par Unity). Pour l'affichage des sources d'un objet visible dans la réalité virtuelle, l'opération consiste donc dans un premier temps à sélectionner l'objet sur lequel l'utilisateur souhaite obtenir des informations (problème d'interface utilisateur), à faire correspondre à cet objet de la réalité virtuelle des informations dans la base de données (problème côté serveur), puis à récupérer ces informations pour les traiter (problème côté client) et les afficher (problème d'interface utilisateur) dans l'espace virtuel (*Fig. 120*).

Afin de réaliser ces tâches, le concept de base de notre solution est la correspondance entre chaque objet sélectionnable de l'environnement virtuel et un objet alias en regard dans la base de données. Outre que l'objet alias peut contenir des informations permettant la description de l'objet virtuel lui-même (on pourrait indiquer des hypothèses sur l'objet restitué dans la description de l'objet alias), il est surtout une porte d'entrée dans la base de données relationnelle. Il donne accès à l'ensemble des entrées de cette base qui auront été précédemment (manuellement ou automatiquement) mises en relation avec cet objet alias et donc, par transitivité, avec l'objet en réalité virtuelle.

L'intérêt de ce fonctionnement est principalement de permettre des modifications en parallèle et non synchronisées de la base de données et du modèle tridimensionnel[8]. L'évolution de la base de données est en effet un travail qui peut être entrepris directement par les historiens ou archéologues d'un projet au fur et à mesure de la découverte de documents et d'analyses. D'un autre côté, l'évolution du modèle se fait à un rythme différent et nécessite d'autres compétences : si PROUVÉ permet une forte liaison entre ces deux aspects d'un projet de restitution de patrimoine, il n'en efface pas les spécificités liées aux compétences et attentes de chacun. Dans le modèle virtuel, les seuls liens existants avec la base de données sont les objets sélectionnables avec un identifiant permettant de les faire correspondre à l'objet alias. Cela signifie qu'il existe un processus de sélection par un opérateur des objets du modèle sur lesquels de l'information peut être affichée ou non. Trivialement, on pourra ne rendre possible la sélection des objets dans l'espace virtuel que s'ils sont associés à des informations dans la base de données.

8 Hervy *et al.* 2012.

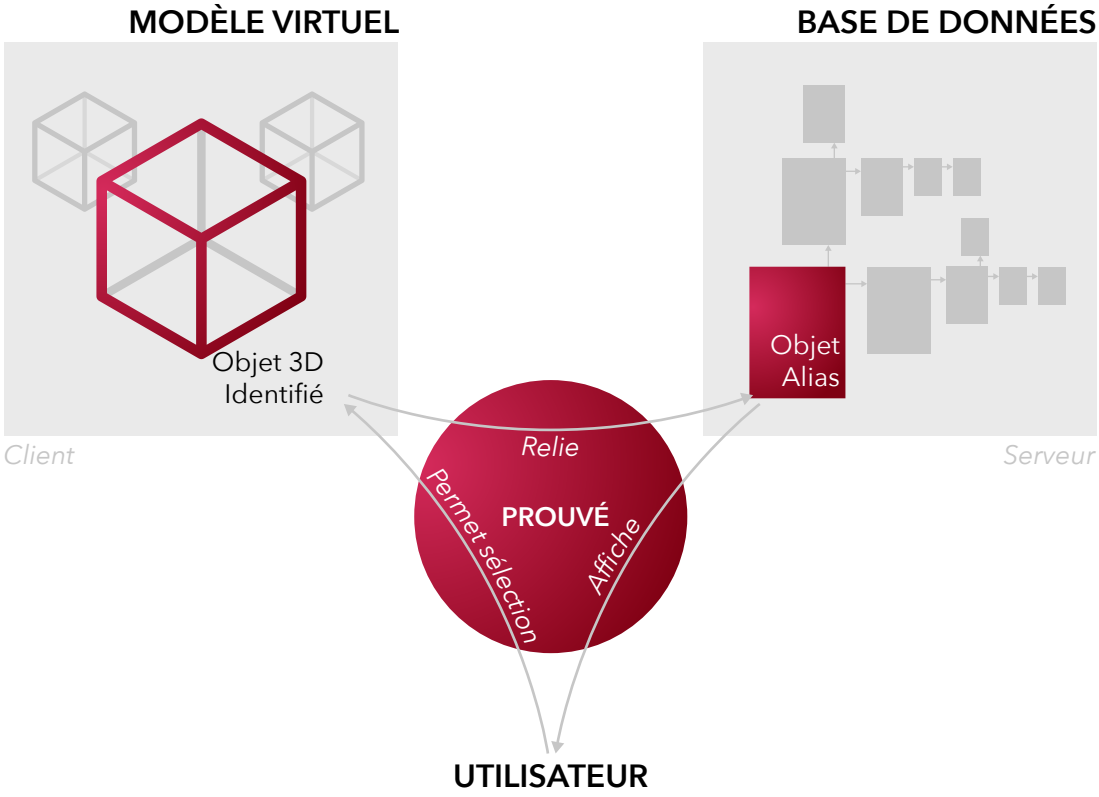


Fig. 120. **Principe de base du fonctionnement de PROUVÉ pour l'affichage des données sur un élément d'un environnement virtuel.**

Alors que PROUVÉ communique exclusivement avec la base de données en mode lecture pour l'obtention des informations sur les objets virtuels, il est également capable d'y écrire des informations. Les données de télémétrie acquises lors de l'immersion en réalité virtuelle sont en effet téléversées dans la base à la fin de chaque séance d'immersion (c'est-à-dire à chaque changement d'utilisateur). Il est ainsi possible de consulter ces données télémétriques en dehors de toute expérience immersive, et de pouvoir revenir *a posteriori* sur sa propre expérience immersive.

Dans les parties suivantes, nous traiterons du serveur Omeka, de son architecture et des modifications réalisées puis nous aborderons de manière similaire l'architecture logicielle des extensions construites pour Unity. Nous aborderons enfin les questions d'interface utilisateur en réalité virtuelle.

Omeka et l'environnement côté serveur

Qu'est-ce qu'Omeka ? Le site web[9] de cet outil numérique développé depuis 2008 donne une première réponse à cette question :

> Omeka provides open-source web publishing platforms for sharing digital collections and creating media-rich online exhibits[10].

Il s'agit donc avant tout d'un outil de gestion de bibliothèque numérique dont l'usage s'est répandu notamment dans les bibliothèques et collections patrimoniales ou liées aux sciences humaines. Deux solutions principales sont proposées par les distributeurs d'Omeka : Omeka S dédiée principalement aux institutions voulant

9 www.omeka.org

10 On pourrait traduire cette phrase ainsi :

> Omeka fournit des plateformes open-source de publication sur le web dédiées au partage de collections numériques et à la création d'expositions en ligne riches en media.

développer plusieurs sites Internet et Omeka Classic dédiée à des projets individuels[11]. Les avantages d'Omeka résident dans sa grande ouverture, que ce soit dans la documentation riche permettant d'en modifier rapidement le comportement, les outils d'API permettant l'interface avec d'autres solutions, une bibliothèque de plugins couvrant les besoins les plus communs et une communauté active. Nous appuyer sur Omeka, c'est également nous appuyer sur l'expérience de notre équipe de recherche dans le maniement de cette solution et une certaine interopérabilité à long terme, notamment avec les outils utilisés et maintenus par la TGIR (Très Grande Infrastructure de Recherche) Huma-Num[12].

Omeka est donc une interface de gestion de bases de données et des documents associés : la structure des bases, leur nombre et leur contenu n'est pas accessible par l'utilisateur, quel que soit sont niveau d'accréditation (que gère également Omeka). L'avantage de cette séparation entre la structure de la base et les données est qu'il permet une utilisation rapide de cet outil par des utilisateurs non formés à la construction d'une architecture de base de données. L'inconvénient est que pour certains usages qui dépassent le cadre limitant de la donnée patrimoniale, l'impossibilité d'avoir accès à la structure même de la base est source de complications. Nous avons néanmoins souhaité insister sur les facilités offertes à un public non averti dans le domaine des bases de données, parmi lesquels figurent de nombreux historiens ou archéologues.

Concepts de base d'Omeka

L'enregistrement des données dans Omeka se fait par le biais d'une entrée dans la base nommée item. Un item peut autant désigner un objet qu'une personne ou un concept dans la base de données puisqu'il est avant tout défini par un jeu de champs à remplir basés par défaut sur le *Dublin Core*. Le *Dublin Core* est un vocabulaire permettant la description de documents développé depuis 1995 par la *Dublin Core Metadata Initiative*[13]. Son intérêt réside à la fois dans sa simplicité et dans son interopérabilité avec d'autres vocabulaires sémantiques. Il repose sur un ensemble de base de quinze descripteurs, qui figurent donc dans Omeka et sont les informations de base à renseigner (ou non) sur un item[14] :

- Titre : le nom donné à l'item ;
- Créateur : l'identifiant du créateur du contenu de l'item ;
- Sujet : le thème de l'item ;
- Description : une description de l'item ;
- Éditeur : l'identifiant du responsable de la mise à disposition ou de la diffusion de l'item ;
- Contributeur : l'identifiant du contributeur au contenu de l'item ;
- Date : date de création de l'item ;
- Type : nature ou genre de l'item ;
- Format : manifestation physique ou numérique de l'item ;
- Identifiant : référence univoque à l'item dans un contexte donné ;
- Source : référence à une ressource ou un item dont l'item est dérivé ;
- Langue : langue du contenu de l'item ;
- Relation : référence à une ressource ou à un item apparenté ;
- Couverture : couverture spatio-temporelle de l'item ;

11 Nous avons développé l'ensemble de notre solution sur Omeka Classic, mais si les outils que nous développons étaient amenés à être utilisés dans un usage récurrent, notamment par un laboratoire ou une équipe de recherche, la solution Omeka S serait la plus adaptée. Nos outils ont été développés de manière à être facilement portés d'une solution à une autre.

12 http://huma-num.fr

Huma-Num propose ainsi le pack « Nakalona » qui contient une base de données Omeka.

13 http://dublincore.org/about/

14 Dublin Core Metadata Initiative 2020.

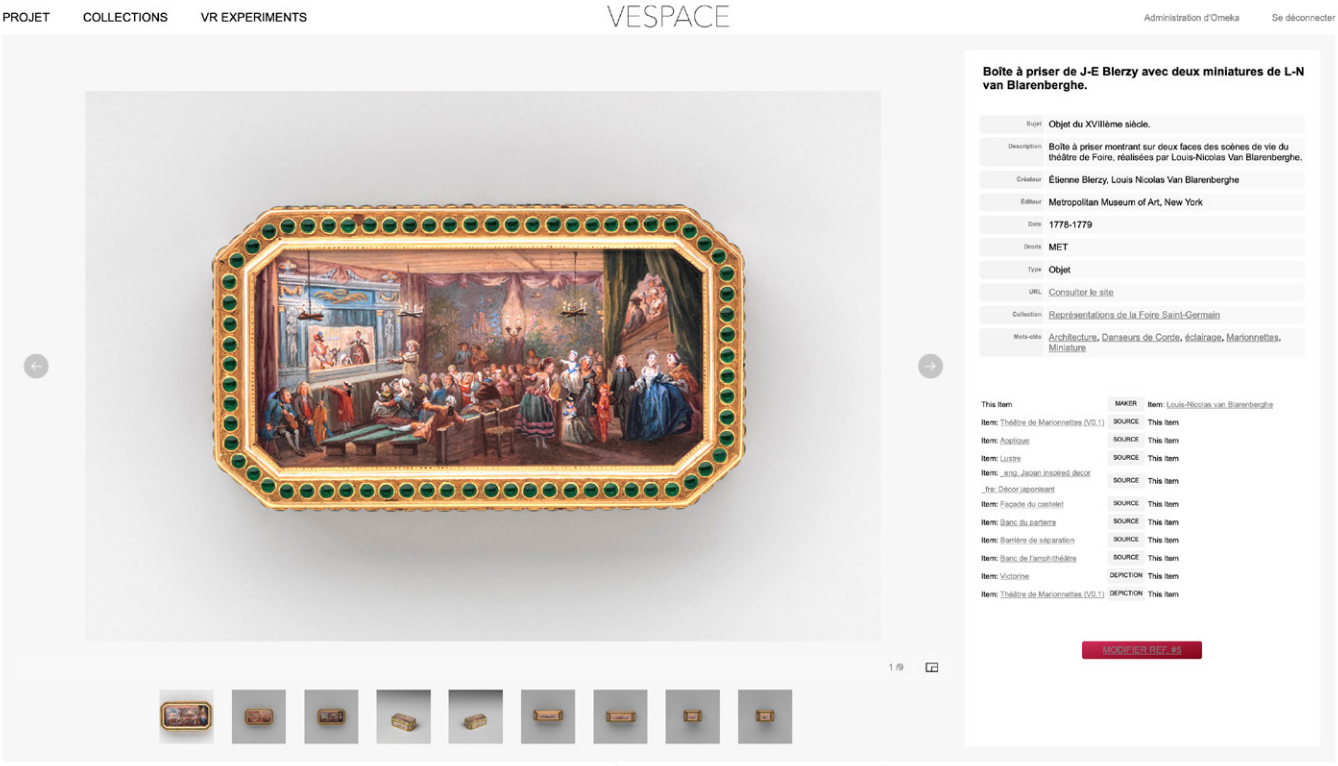


Fig. 121. Affichage d'un élément dans la base de données OMEKA du projet VESPACE.

— Gestion de droits : informations sur les droits associés à l'item.

On le voit, ces 15 descripteurs sont particulièrement génériques, d'autant qu'ils sont des champs libres permettant à tout contributeur de les remplir comme bon lui semble. Ils ne sont pas non plus sans ambiguïté : créateur, éditeur et contributeur peuvent sembler abscons dans leur description. Pour lever le doute sur ces trois descripteurs, nous prendrons l'exemple d'un livre : le créateur du livre est son ou ses auteurs, l'éditeur est la maison d'édition qui le met à disposition des lecteurs, tandis que le contributeur est une entité ayant participé à la production du livre (l'auteur de la préface, par exemple).

De même, dans Omeka, la date est également un champ libre laissé à l'interprétation de l'utilisateur[15] : celui-ci pourrait aussi bien renseigner un siècle en toutes lettres (« dix-huitième siècle ») qu'en chiffres romains (« XVIIIe s. »), préciser l'année (« 1762 ») ou même la date dans de multiples formats (« le 12 janvier 1762 », « 12/01/1762 », « 01/12/1762 »). L'intérêt est évident lorsque des items ne sont pas datés avec la même précision, mais il devient alors particulièrement problématique d'effectuer des recherches pertinentes basées sur ces descripteurs sans la définition de règles au sein d'un même projet. Seule une certaine rigueur au sein d'un même projet permet de passer outre ces difficultés, rigueur qu'il convient d'évaluer en phase amont de la réalisation de ce type de base de données.

À chaque item peut également être associé un des 15 types par défaut également issu du Dublin Core :

— *Document* : une ressource contenant des données textuelles ;
— *Moving Images* : une vidéo[16] ;
— *Oral History* : une ressource contenant des informations historiques obtenues à partir d'interviews ;

15 Le *Dublin Core* spécifie en revanche un format spécifique pour les données de type date, suivant la norme ISO 8601-1, dont le format est le suivant AAAA-MM-JJ, mais aucun contrôle de format n'est effectué dans Omeka.

16 Nous préférons le terme « vidéo » à celui des spécifications du *Dublin Core* qui nous paraît inutilement compliqué : « Une série de représentations visuelles qui, lorsque montrées à la suite, donnent l'impression de mouvement ».

— *Sound* : du son ;
— *Still Image* : une représentation visuelle statique, depuis des peintures ou croquis jusqu'aux photographies ;
— *Website* : un site Internet ;
— *Event* : un événement comme une exposition, une conférence, des journées portes ouvertes, une bataille, un procès, un mariage, etc. ;
— *Email* : un courriel ;
— *Lesson Plan* : un ensemble de documents dédiés à l'apprentissage, une leçon ;
— *Hyperlink* : un hyperlien ;
— *Person* : un individu ;
— *Interactive Resource* : une ressource nécessitant l'interaction de l'utilisateur pour pouvoir être comprise (des formulaires d'une page web par exemple) ;
— *Physical objects* : un objet physique tangible.

Ainsi, pour reprendre l'exemple de notre livre, il s'agit d'un « Document ». L'auteur de ce livre, quant à lui, serait évidemment une « Person ». À chacun de ces types d'item correspondent un jeu de descripteurs supplémentaire et différent pour chaque type qui viennent pallier les manques ou l'inadaptation des quinze descripteurs de base. Pour « Person », il est par exemple possible de renseigner les dates et lieux de naissance et de décès. À chaque item peuvent être associés un ou plusieurs fichiers qui peuvent être individuellement décrits grâce au même ensemble *Dublin Core* (Titre, Créateur, Sujet, Description, etc.), ainsi que des mots-clés librement définis.

Chaque item peut ou non appartenir à une et une seule Collection qui correspond à une manière de regrouper des items. On comprend qu'il s'agit ici d'une analogie avec la collection de musée dont les objets physiques ne peuvent appartenir qu'à une et une seule collection. Il ne s'agit donc pas à proprement parler d'une méthode de classement thématique, qui autoriserait dans un monde virtuel le placement des items dans plusieurs collections.

Omeka fournit également des moyens de mise en place d'expositions numériques sous la forme d'un éditeur de pages web permettant le placement de textes conçus pour l'occasion et de données issues des items (comme l'image ou la vidéo associée à un item). Il s'agit donc de permettre de visualiser le contenu de la base de données par le biais de contenus sélectionnés et commentés pour le grand public, à l'image d'une exposition de musée.

Enfin, notons qu'Omeka est codé en langage PHP, avec le framework Zend[17], qui a la particularité de reprendre une architecture de type « modèle-vue-contrôleur » (MVC). Cette architecture divise en trois entités distinctes, typiquement trois fichiers de script, le modèle qui contient les données à afficher, la vue qui règle l'affichage de ces données et le contrôleur qui gère les actions des utilisateurs. La compréhension de cette architecture et de ses règles est essentielle au développement d'extensions pour Omeka.

Adaptation d'Omeka pour PROUVÉ

Le fonctionnement de notre solution repose avant tout sur l'existence d'un objet alias dans la base de donnée, qui correspond à la représentation dans celle-ci d'un objet existant dans le modèle tridimensionnel virtuel. Une des premières modifications à réaliser dans Omeka est donc la possibilité d'enregistrer des items qui jouent le rôle d'alias. Nous avons donc créé le type Object Alias qui regroupe l'ensemble des alias au sein de la base de données. Ainsi, pour l'objet virtuel représentant un banc de l'amphithéâtre dans le théâtre de marionnettes que nous avons restitué, nous pouvons faire correspondre l'alias suivant :

17 https://framework.zend.com

Descripteur	Contenu
Titre	Banc de l'amphithéâtre
Sujet	Élément mobilier
Description	L'amphithéâtre (c'est ainsi que l'on nommait les places du fond de la salle), est simplement esquissé dans la miniature de Blarenberghe qui sert de base à cette restitution. Il est difficile de savoir si les spectateurs s'y tenaient assis ou debout, mais par comparaison avec des plans d'époque, il est probable que les spectateurs y aient été assis.
Créateur	Paul François, VESPACE
Identifiant[18]	323

Table 6. Descripteurs associés à l'item 323 de la base Omeka de VESPACE.

Nous souhaitons également afficher à partir de cet alias les différentes sources et documents qui sont liés à la restitution de l'objet. Or, de par sa structure et l'utilisation de champs ouvert, Omeka ne permet pas par défaut de mettre en place ce type de relation. Le descripteur source, par exemple, est prévu pour contenir toute forme de texte sans pouvoir définir explicitement une relation navigable entre deux items. De ce point de vue, Omeka n'est pas pour l'utilisateur une base de donnée relationnelle : il n'est pas possible d'établir des relations explicites et définies entre plusieurs éléments. La relation qui lie par exemple Louis-Nicolas van Blarenberghe (défini comme item dans la base) à une des miniatures qu'il a réalisée est implicite et aucun lien direct ne permet de relier les items fabriqués par Blarenberghe à Blarenberghe lui-même.

Pour transformer Omeka en base de données relationnelle, nous avons besoin d'un plugin appelé « Item Relations » qui permet d'établir des relations entre les éléments sur la base des ontologies relationnelles du *Dublin Core*, de la *Bibliographic Ontology* (BIBO), de *Friend of a Friend* (FOAF) et du *Functional Requirements for Bibliographic Records* (FRBR). Ces ontologies sont respectivement générique, spécialisée dans les références bibliographiques, spécialisée dans les interactions entre personnes et enfin spécialisée dans les notes bibliographiques. Ensemble, elles définissent un ensemble de relations, parfois redondantes ou avec des degrés de précision divers qui permettent de lier des items de la base de données entre eux. Ces relations se conçoivent sous la forme « A relation B », où A est l'item sujet et B l'item objet et « relation » est parfois un nom et parfois un groupe verbal à la voix active ou passive. Si les groupes verbaux sont aisément compréhensibles, les groupes nominaux eux sont plus ambigus puisque le sens de la relation n'est pas toujours établi. Parmi cet ensemble, on s'intéresse notamment aux relations suivantes (sans exclure néanmoins les autres) :

— « A Source B » : signifie que l'item A a comme source l'item B. Cette relation est centrale dans notre usage d'Omeka ;
— « A Relation B » : signifie que l'item A est en relation avec l'item B, soit parce qu'ils ont un thème semblable, soit parce qu'ils sont apparentés de manière générique, nous l'utilisons à la manière du « voir aussi… » des encyclopédistes ;
— « A Subject B » : signifie que l'item A a pour sujet l'item B ;
— « A Creator B » : signifie que l'item A a pour créateur l'item B.

18 L'identifiant est attribué automatiquement par Omeka et ne résulte pas d'une action de l'utilisateur. Il est unique et permet d'identifier de manière certaine un élément de la base de données.

Il est ainsi possible de décrire les relations qui relient un alias avec les sources qui le concernent. Pour reprendre l'exemple des bancs de l'amphithéâtre, nous avons défini les relations suivantes :

Sujet	Relation	Objet
alias	Source	Boîte à priser avec une miniature de Blarenberghe (ID 5)
alias	Relation	Plan de l'amphithéâtre et des premières loges (ID 88)
alias	Relation	Plan d'un théâtre de marionnettes (ID 40)

Table 7. Relations associées à l'item 323 de la base Omeka de VESPACE.

Depuis cet alias donc, l'utilisateur pourrait avoir accès à la miniature de Louis-Nicolas van Blarenberghe figurant sur une des faces de la boîte à priser. À partir de là, il pourrait également avoir accès par le même système à la fiche de Blarenberghe, lié par la relation « Creator ». Par ailleurs, ces relations étant bijectives, l'utilisateur pourrait également avoir accès à tous les éléments ayant pour référence la boîte à priser. La diversité des relations possibles, leur précision et leur pertinence a un impact majeur sur l'expérience en réalité virtuelle en permettant ou non à l'utilisateur d'avoir accès à des informations pertinentes et de bien comprendre le travail des chercheurs. Leur création nécessite donc un soin particulier, seul garant du bon usage du système.

L'API REST

Afin de permettre aux données de la base Omeka d'être consultées depuis une autre interface, il est nécessaire d'activer l'API (l'interface de programmation) conçue dans Omeka. Il est ainsi possible de récupérer les données par le biais de requêtes HTTP spécifiques (GET[19]) pour lesquelles l'API d'Omeka renvoie un fichier au format JSON[20]. Tant l'API d'Omeka que la structuration du fichier JSON répondent aux exigences de l'architecture *REpresentational State Transfer* (REST) qui impose notamment des contraintes sur le serveur qui sont intégrées lors de l'installation d'Omeka. La partie la plus visible de cette architecture pour nous est le format de fichier retourné lors d'une requête et le moyen de réaliser une requête.

Admettons que nous souhaitions obtenir les informations contenues dans l'item possédant l'identifiant numéro 5 (ce qui correspond dans l'application du Théâtre de Marionnettes à la boîte à priser de Blerzy contenant la miniature de Blarenberghe). Pour l'accès à cette ressource nous devons effectuer une requête HTTP GET à l'adresse « http://vespaceserveur.com/api/items/5 ». L'URL à laquelle nous tentons d'accéder indique que nous nous adressons à l'API et plus précisément à sa fonction « items » qui renvoie le contenu de la base pour un item particulier, ici celui possédant l'identifiant unique 5. Dans le cas présent, une telle requête ne retournera rien, nous devons également fournir une clé d'identification sous forme de code hexadécimal au serveur, permettant d'authentifier l'auteur de la requête : cette clé fait à la fois office de moyen d'authentification et de code d'accès. Une fois la clé d'accès fournie, le serveur retourne alors un fichier JSON contenant toutes les informations contenues dans la base sur cet item numéro 5.

Un fichier JSON contient les données réparties sous la forme de paires *key-value* (nom et valeur), sous forme la forme « 'clé': 'valeur' », les valeurs représentant principalement trois types de données : des variables génériques (texte, valeur numérique, booléen, etc.), des objets dont le contenu est toujours écrit entre accolades « { } », et des tableaux dont le contenu est écrit entre crochets « [ ] ». La représentation objet

19 Il existe cinq types principaux de méthodes HTTP : GET, POST, PUT, PATCH, DELETE qui correspondent à des opérations distinctes effectuées par le serveur, respectivement obtenir une ressource, envoyer une ressource pour traitement, envoyer une ressource, modifier une ressource ou supprimer une ressource.

20 *JavaScript Object Notation*, un format de données en mode texte créé en 2002.

spécifique à REST et à Omeka renvoie directement les données associées à la table items de la base de données et aux différents champs du *Dublin Core*. Les informations spécifiques sur les champs eux-mêmes (origine, description, etc.) comme par exemple le type d'un item sont en effet stockées dans une autre table de la base nommée item_types et seule la clé de l'élément correspondant au type de l'item dans item_type est enregistrée dans la table item. Dans le fichier JSON reçu, la valeur « item_type » est ainsi définie comme suit :

```
«item_type»: {
        «id»: 1,
        «url»: «http://yourdomain.com/api/item_types/1»,
        «name»: «Text»,
        «resource»: «item_types»
}
```

La valeur associée à la clé id est l'identifiant du type d'item dans la table définie par la clé Resource. Le nom correspondant au type est indiqué par la clé name, mais pour accéder à l'ensemble des informations complémentaires sur ce type d'item, il est nécessaire de réaliser une nouvelle requête à l'adresse définie par la clé url. Savoir que l'item affiché est de type Text est néanmoins suffisant pour bien des usages.

Avec une seule requête, il n'est donc pas possible d'obtenir toutes les données associées à un objet, les images et médias associés nécessitant d'autres requêtes. Une requête à l'API REST renvoie ainsi un ensemble d'objets imbriqués, correspondant aux différentes ressources et plugins, et de liens permettant de retrouver l'ensemble des données associés à un item en particulier[21]. C'est à la partie client de déconstruire ces objets pour en extraire les informations utiles à l'utilisateur, ou au contraire de reproduire de tels fichiers JSON pour l'enregistrement des données sur le serveur.

Unity et l'environnement côté client

Nous avons détaillé l'architecture globale du serveur Omeka et avons montré sous quel format les données pouvaient être fournies à une autre application. Intéressons-nous à présent au fonctionnement de PROUVÉ côté client, donc sur l'ordinateur faisant fonctionner l'expérience de réalité virtuelle. Il s'agit maintenant de coder les différentes fonctions que nous avons précédemment identifiées, au premier rang desquelles l'affichage des données issues de la base de données. L'environnement Unity impose le langage C# pour l'écriture des différents scripts, un langage différent du PHP utilisé par Omeka.

Les différentes briques de PROUVÉ sur Unity

L'outil que nous avons conçu est organisé autour de quatre principales briques logicielles gravitant autour d'une cinquième, contrôlant l'ensemble, nommée SceneHandler[22] (gestionnaire de scène). Cette première brique est chargée de contrôler le lancement des autres en fonction de paramètres définis lors de l'exécution (l'enregistrement des données par exemple, n'est pas effectif dans le mode de démonstration) et de répondre aux interactions de l'utilisateur. Parmi les quatre briques restantes, c'est avec OmekaPad que l'utilisateur a le plus d'interactions directes puisque ce script

21 Pour obtenir les spécifications complètes de l'API REST d'Omeka, consulter la documentation d'Omeka à ce sujet : https://omeka.readthedocs.io/en/latest/Reference/api/index.html

22 Pour des raisons de lisibilité, nous ne reprendrons pas dans le corps du texte la nomenclature que nous avons respectée pour la création des noms de scripts. Celle-ci prend la forme suivante : PROUVE_SceneHandler.cs, PROUVE_DataCaller.cs, etc.

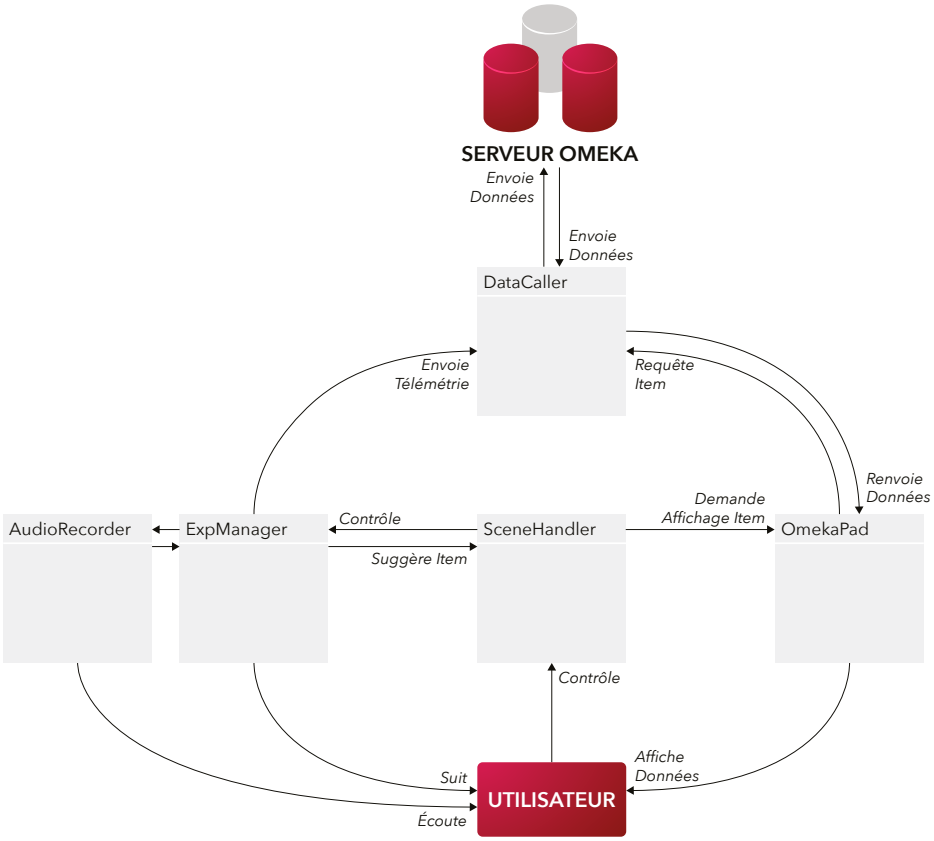


Fig. 122. **Représentation des principaux composants de PROUVÉ sur Unity.**

est dédié à la gestion de l'affichage des données à l'utilisateur. Ces données sont issues du script DataCaller auprès duquel OmekaPad effectue une requête d'affichage et qui renvoie ensuite les données à afficher : DataCaller est donc chargé d'effectuer des requêtes de données auprès du serveur distant Omeka, d'interpréter le contenu de la réponse du serveur et d'en demander l'affichage à OmekaPad.

Parallèlement à cela, la brique ExperienceManager est chargée de la mesure, de l'enregistrement et de la sauvegarde vers DataCaller des principales données de télémétrie (position de l'utilisateur, direction du regard, actions de l'utilisateur). En fonction de ces informations, cette brique est également capable de demander l'affichage de suggestions à SceneHandler (qui se chargera donc de transmettre la demande à OmekaPad). ExperienceManager délègue à AudioRecorder les opérations liées à l'écoute, à l'enregistrement et à l'écriture dans un fichier du flux audio pendant toute l'expérience.

Nous ne reviendrons pas en détail sur le fonctionnement interne des briques comme SceneHandler ou OmekaPad : malgré leur importance indubitable dans le fonctionnement de l'outil, elles ne présentent aucune spécificité en matière de programmation qui mérite d'être détaillée. C'est donc principalement à DataCaller que nous nous attacherons.

Interprétation des données de l'API REST

Pour permettre l'affichage des données contenues dans la base de données Omeka, nous devons dans un premier temps effectuer une requête vers notre serveur distant, récupérer les données, les analyser et les compléter le cas échéant puis les envoyer à OmekaPad pour qu'elles soient affichées. C'est DataCaller qui se charge de l'ensemble de ces opérations.

L'ensemble du processus doit avoir lieu au sein d'une expérience en réalité virtuelle, pour laquelle nous devons réduire autant que possible les latences dans le rendu des images qui causent le *motion sickness*. La plupart des processus effectués lors d'une exécution d'un jeu doit être réalisé dans le temps le plus court possible sous peine d'augmenter l'intervalle entre deux images successives et donc l'impression de latence si désagréable qui vient nuire également au sentiment de présence. Or, nous faisons appel à des données distantes situées sur un serveur, et le temps entre la requête elle-même et la réception de la réponse du serveur peut être important. Il convient donc de mettre en place des mécanismes de calcul asynchrone qui garantissent que l'expérience peut continuer alors même que des informations sont en train de transiter depuis le serveur jusqu'au client. Pour cela, nous avons eu recours aux coroutines de Unity, qui sont des fonctions spécifiques retournant le type IEnumerator. Au sein de cette fonction, le mot-clé « yield » indique au programme qu'il peut continuer les autres opérations en attendant que la condition derrière ce mot-clé soit vérifiée. Dans le cas spécifique des requêtes sur un serveur distant, il s'agit de l'attente de la réception des données du serveur.

Une fois les données reçues, c'est-à-dire un fichier JSON dont l'architecture reprend le format que nous avons déjà spécifié, il convient de les analyser. Un fichier JSON peut être analysé par Unity et transformé en objets C#, ce que nous cherchons à faire pour pouvoir manipuler les données reçues. Cela nécessite néanmoins de programmer en amont les classes des objets qui vont être créés à la lecture des fichiers JSON : ces classes doivent reprendre comme nom de variable les clés des couples *key-value* du fichier renvoyé par l'API. Ainsi, pour reprendre l'exemple de l'item_type, nous devons faire correspondre à la syntaxe JSON l'objet C# suivant :

```
[System.Serializable]
public class OmekaItemType {
        public int id;
        public string url;
        public string name;
        public string resource;
}
```

Nous avons ainsi défini 16 classes nous permettant de manipuler les données renvoyées par Omeka, la plus importante étant la classe OmekaItem qui regroupe l'ensemble des informations, éventuellement obtenues récursivement, sur un même item. En revanche, nous n'avons pas cherché à conserver l'ensemble des données fournies par l'API, certains éléments techniques comme les autorisations ou le créateur d'une notice n'ont en effet pas d'intérêt, à ce stade, en réalité virtuelle.

La classe OmekaItem est ainsi représentée comme suit (nous n'avons pas jugé opportun de détailler les fonctions associées, principalement liées à l'ajout ou à la lecture d'attributs ou à la production d'une représentation sous format JSON lisible par l'API) :

```
[System.Serializable]
public class OmekaItem {
        public int id;
        public string url;public OmekaItemType item_type; //représentation du
                type
        public OmekaCollection collection ; //collection à laquelle appartient
                l'item
        public OmekaItemFiles files ; //fichiers associés à l'item
        public OmekaTag[] tags; //mots-clés associés à l'item
        public OmekaElementTexts[] element_texts ; //ensemble des champs
```

```
                du DublinCore
        public  OmekaExtendedResources  extended_resources  ;  //ressources
                liées au plugin
}
```

L'ensemble des classes qu'implique la lecture du fichier JSON fourni par l'API REST d'Omeka est particulièrement lourd à manipuler et contient en outre des informations qui ne sont pas utiles dans la plupart des *scenarii* d'exploitation en réalité virtuelle (les identifiants des références des champs du *Dublin Core*, par exemple) mais le sont dans le cadre d'un échange de données. Afin de faciliter l'exploitation de ces données et notamment leur transfert entre les différentes briques logicielles de PROUVÉ, nous avons mis en place deux classes simplifiées ne contenant que les informations de type texte. Ce sont ces classes qui sont utilisées par OmekaPad pour permettre l'affichage des données :

```
public class PROUVE_TextComponent {
        public int id ;
        public string title ;
        public string description ;
        public int filesCount ;
        public OmekaTag[] keywords ;
        public PROUVE_QuickElement[] elements ;
}

public class PROUVE_QuickElement {
        public string title ;
        public string description ;
}
```

Le recours à des données distantes peut parfois causer des problèmes d'attente trop importante, même avec les précautions que nous avons prises pour que celle-ci n'impacte pas l'affichage. En cas d'accès à un réseau restreint, il est possible de devoir attendre plusieurs secondes avant que les images ne s'affichent. Nous avons donc mis en place un système de cache permettant le stockage en local de l'ensemble des fichiers JSON de la base de données et des media associés : cette solution permet d'assurer en mobilité l'accès à une version sauvegardée des données. En revanche, cela empêche évidemment la modification de la base de données en cours d'expérience puisque les modifications ne seraient visibles qu'après un rechargement complet du cache[23].

Identification des objets virtuels sélectionnables

Puisque nous avons montré comment récupérer l'information de la base de données Omeka à partir d'un identifiant unique d'entrée dans celle-ci, il convient maintenant de pouvoir associer des éléments de la scène dans Unity avec l'identifiant de leur alias. Il faut dans un premier temps identifier les objets de la scène qui possèdent un alias, processus qui peut être relativement long en fonction de la taille de la scène. À chacun de ces objets nous pouvons ajouter un composant spécifique que nous avons appelé AliasObject, et la classe correspondante contient principalement un

23 Une évolution de ce système dans le futur pourrait n'effectuer qu'une mise à jour incrémentale du cache local, permettant de limiter les besoins en bande passante et autorisant une mise à jour en arrière-plan même dans des conditions de faible accès à Internet. Seuls les éléments modifiés, ajoutés ou supprimés seraient modifiés dans le cache local.

champ public (c'est-à-dire modifiable dans l'interface de Unity) qui est l'identifiant unique de l'alias dans la base de données.

À cette étape, nous avons donc associé un objet de l'environnement virtuel avec son alias, mais nous n'avons aucun moyen de le sélectionner. Pour cela nous devons affecter à cet objet un composant de Collider, c'est-à-dire une représentation simplifiée de la géométrie de l'objet permettant le calcul des interactions physiques avec l'environnement virtuel. Ce composant est typiquement utilisé par Unity pour simuler la chute d'objet sur un sol ou les impacts entre deux objets (un projectile atteignant sa cible, par exemple), mais il permet également à cet objet d'être la cible du procédé de *Raycast*. Ce procédé permet de calculer l'intersection entre une demi-droite (une droite semi-infinie définie par son point de départ et un vecteur directeur) et un objet, pour peu que celui-ci soit doté d'un élément dénommé Collider.

En dotant les objets que l'on souhaite d'un Collider adéquat (la géométrie de l'objet peut en effet être approchée par une boîte, une sphère, une pilule ou non simplifiée, ce dernier procédé nécessitant beaucoup plus de calculs), on peut ainsi savoir lorsque celui-ci croise un rayon. Nous verrons dans la suite consacrée à l'interface que nous avons choisi la métaphore d'un laser pour permettre la sélection des objets dans l'espace, puisqu'en l'absence de dispositifs haptiques, ceux-ci ne sont pas touchables.

Cette méthode nécessite donc de doter les objets que l'on souhaite de deux composants, impliquant de les identifier dans l'arborescence des objets importés depuis 3DS Max. Par chance, l'arborescence des objets est conservée lors de l'export au format FBX depuis le logiciel de création et lors de l'import dans Unity, de même que le nom des objets. Il est donc possible d'identifier manuellement ces objets dès le processus de modélisation. Le recours à un script pour 3DS Max, le logiciel étant entièrement scriptable, pourrait à terme automatiser le processus de lien entre un objet modélisé et son alias dans la base de données dès l'étape de conception. Par ailleurs, il est également possible de séparer complètement les Colliders (qui sont une représentation géométrique simplifiée des objets) de la scène originale dans Unity. Unity permet en effet la création d'objets vides (qui n'ont aucune représentation à l'écran), de les placer à l'endroit des objets à sélectionner du modèle et de leur appliquer des composants dont le Collider et notre AliasObject. Avec cette méthode, le fait de réimporter le fichier FBX, ou une autre version du modèle, ne casse pas les liens entre objets et alias[24].

En sélectionnant un objet, celui-ci peut donc indiquer à SceneHandler l'identifiant de son alias. À ce moment, SceneHandler demande à OmekaPad l'affichage de cet élément, provoquant dans le même temps une requête de DataCaller vers le serveur (ou le système de cache). Lorsque le serveur répond, l'élément est affiché et l'utilisateur peut donc voir le contenu de l'alias. Mais quelle est l'interface que voit l'utilisateur ?

Unity et l'interface utilisateur

La réalité virtuelle peut-être déroutante pour les utilisateurs : alors que l'environnement virtuel reprend les codes visuels de l'environnement réel, il n'en a pas la matérialité. Une action aussi triviale que de toucher un objet pour demander de quoi il s'agit n'est pas réalisable en réalité virtuelle et nous avons donc dû chercher d'autres moyens d'interagir avec l'espace. De même, il existe de nombreux moyens d'afficher de l'information en réalité virtuelle. Nous avons cherché à nous éloigner de la métaphore du cartel de musée où une fiche est positionnée de manière fixe

24 En réalité l'utilisateur ne sélectionne jamais l'objet modélisé lui-même, mais une représentation géométrique simplifiée de celui-ci, invisible, placée au même endroit. Dès lors, d'un point de vue de l'utilisateur, que cette représentation soit directement attachée aux objets de la maquette ou séparée n'a aucune incidence.

à côté d'un objet pour l'expliquer, le décrire et le mettre en contexte. L'intérêt de l'environnement virtuel est justement son adaptabilité, sa capacité d'interaction avec l'utilisateur, d'où l'idée d'un élément d'interface mobile et interactif.

En terme d'interface en réalité virtuelle, nous ne pouvons que parler de « métaphore ». De même que l'informatique personnelle a rendu commune la métaphore du « fichier » et du « dossier », reprenant en cela les mots des archivistes et des systèmes de rangement des bureaux, alors qu'il ne s'agit pas de la manière réelle de rangement des informations dans le système de l'ordinateur (d'où l'usage concurrent en informatique du mot « répertoire » au lieu de « dossier »), nous devons nous appuyer sur des représentations d'objets réels pour aider la compréhension de l'utilisateur[25].

L'interface de SteamVR

Avant même de nous intéresser à l'interface que nous avons nous-même conçue, intéressons-nous aux éléments fournis par le plugin que nous utilisons pour gérer les interactions et les mouvements en réalité virtuelle : SteamVR. Quel que soit le matériel utilisé, SteamVR propose dans un premier temps de retrouver une représentation photo-réaliste des manettes réelles en réalité virtuelle. Tenant ces manettes, une représentation des mains de l'utilisateur s'adapte en temps réel aux interactions que celui-ci réalise avec les différents boutons et surfaces tactiles. Pour la manette du casque HTC Vive que nous utilisons, dotée d'une surface tactile au niveau du pouce, la position du pouce virtuel est ainsi adaptée en temps réel pour s'adapter à la position du pouce réel. Évidemment, si l'utilisateur n'effectue aucune action sur les boutons physiques ou sur les surfaces tactiles, la main virtuelle ne correspond qu'à une position par défaut qui peut être très éloignée de la main réelle. L'intérêt d'une représentation de l'objet physique en réalité virtuelle est évident : il s'agit de pouvoir facilement visualiser la position des différentes touches et de les atteindre ainsi que de visualiser la position de ses mains dans l'espace.

SteamVR propose également des possibilités de téléportation que nous avons déjà énumérées dans le chapitre précédent. L'interface de cette possibilité est néanmoins complexe puisqu'elle ne s'appuie sur aucune métaphore de l'environnement réel, et pour cause, il n'est pas possible de se téléporter dans la réalité. Il a donc été particulièrement difficile d'expliquer son fonctionnement à certains utilisateurs. En appuyant sur un contrôle de la manette, l'utilisateur fait apparaître une courbe partant de la représentation de la manette en réalité virtuelle et atterrissant sur une des surfaces de la scène. La forme de cette courbe veut reprendre celle que prendrait un projectile lancé avec une certaine énergie dans la direction prise par la manette : une trajectoire parabolique qu'il est possible de moduler en changeant l'orientation de la manette. Dès lors, en visant très haut, on peut atterrir très près, ce qui peut paraître contre intuitif. Cela permet cependant d'avoir accès à certaines zones en profitant de la courbure de la trajectoire, zones de la scène qui ne sont pas visibles directement et seraient donc inaccessibles par un système avec une visée en ligne droite. Pour visualiser l'emplacement de la zone d'arrivée, SteamVR propose de placer un cercle lumineux au sol, visualisant une sorte de tube lumineux dans lequel l'utilisateur est supposé atterrir à l'issue de la téléportation : il s'agit vraisemblablement d'une image issue de la Science Fiction.

Enfin, SteamVR indique également à l'utilisateur dans l'environnement virtuel lorsqu'il atteint les limites de l'espace « jouable » dans l'environnement réel. Typiquement, lorsque l'utilisateur s'approche d'un mur, mur qui n'apparaît pas en réalité virtuelle, SteamVR affiche une cage en surimpression sur l'environnement virtuel.

25 Il convient ici de spécifier une différence entre le recours à une métaphore et le skeuomorphisme. Ce dernier reproduit dans l'interface des éléments présents sur l'objet réel dont on s'inspire mais parfaitement inutiles dans le monde virtuel. Dans le cas de la métaphore du laser, une approche skeuomorphique serait de reproduire la forme typique du pointeur laser et éventuellement l'anneau pour l'accrocher à un porte-clé que l'on retrouverait sur certains d'entre eux. Bien sûr, ces éléments sont parfaitement inutiles en réalité virtuelle.

L'intérêt de cette visualisation, outre que la métaphore de la cage peut être déstabilisante, c'est qu'elle est suffisamment explicite pour freiner la plupart des utilisateurs même sans avoir reçu d'information préalable sur la signification de cet affichage.

Nous n'avons pas recours à d'autres éléments d'interface de SteamVR, à part celle du laser.

Sélectionner et pointer : la métaphore du laser

Afin de pouvoir pointer des objets et de les sélectionner, nous avons choisi la métaphore du laser. De la représentation virtuelle de la manette sort donc un laser qui se dirige en ligne droite en suivant la direction de la manette ; l'utilisateur peut donc facilement diriger le laser dans la direction qu'il souhaite à partir de n'importe quelle position. Par rapport à une méthode de sélection qui nécessiterait par exemple de devoir avoir une interaction directe (simuler le « toucher » de la manette avec l'objet par exemple), cette méthode présente de nombreux avantages. Elle limite dans un premier temps le besoin de déplacement puisque de très nombreux objets sont visibles en regardant autour de soi à 360°. Elle permet également d'avoir accès à des objets qui sont, même en se déplaçant, physiquement hors de portée : des lustres suspendus par exemple ne peuvent pas être touchés.

Pour sélectionner un objet après l'avoir pointé, il suffit alors de presser la gâchette située sous la manette. Dans cette configuration, l'utilisateur n'a aucun moyen de savoir s'il a pointé et sélectionné un objet associé à des informations ou non. En réalité, seuls les objets avec des informations peuvent être sélectionnés puisque ce sont les seuls à avoir un composant Collider permettant de calculer une interaction avec le laser, mais l'utilisateur ne perçoit pas cette nuance. Pour l'aider, nous avons souhaité donner au laser une couleur différente selon trois états possibles :

— le laser est noir : il ne pointe vers aucun objet comportant des informations ;
— le laser est bleu : il pointe vers un objet sélectionnable ;
— le laser est vert : il témoigne de la prise en compte par le logiciel de la sélection de l'utilisateur.

Nous avons souhaité utiliser le même comportement pour sélectionner les objets et pour naviguer dans l'interface. Quelle que soit l'opération de pointage et de sélection (vers un objet de la scène ou vers une interface) nous utilisons donc toujours le laser avec le même code couleur : il devient également bleu lorsqu'un bouton virtuel est « cliquable », et vert lorsque l'utilisateur a « cliqué » dessus. Par l'utilisation d'un seul dispositif pour deux types d'interactions qui sont légèrement différentes, nous souhaitons faciliter l'apprentissage du système par l'utilisateur.

Interface de visualisation des informations

Lorsque l'utilisateur a sélectionné un objet en utilisant le laser, il est amené à visualiser les informations relatives à cet objet. Deux questions ont principalement guidé notre recherche d'interface relative à cet affichage : où ces données doivent-elles être affichées, et comment ?

Concernant la position de l'information, nous sommes parti du postulat que nous souhaitions que l'information soit présente sur une surface virtuelle, à la manière d'un cartel ou borne interactive de musée ou d'une tablette affichant des informations changeantes. Trois possibilités d'emplacement ont été envisagées :

— le support d'affichage a une position fixe dans l'espace virtuel, comme le serait un cartel de musée, mais est capable de pivoter pour être toujours en face de l'utilisateur ;
— le support d'affichage a une position fixe par rapport à la tête de l'utilisateur, et agit comme un affichage tête haute (*Head-Up Display*, HUD) en surimpression sur l'environnement virtuel ;

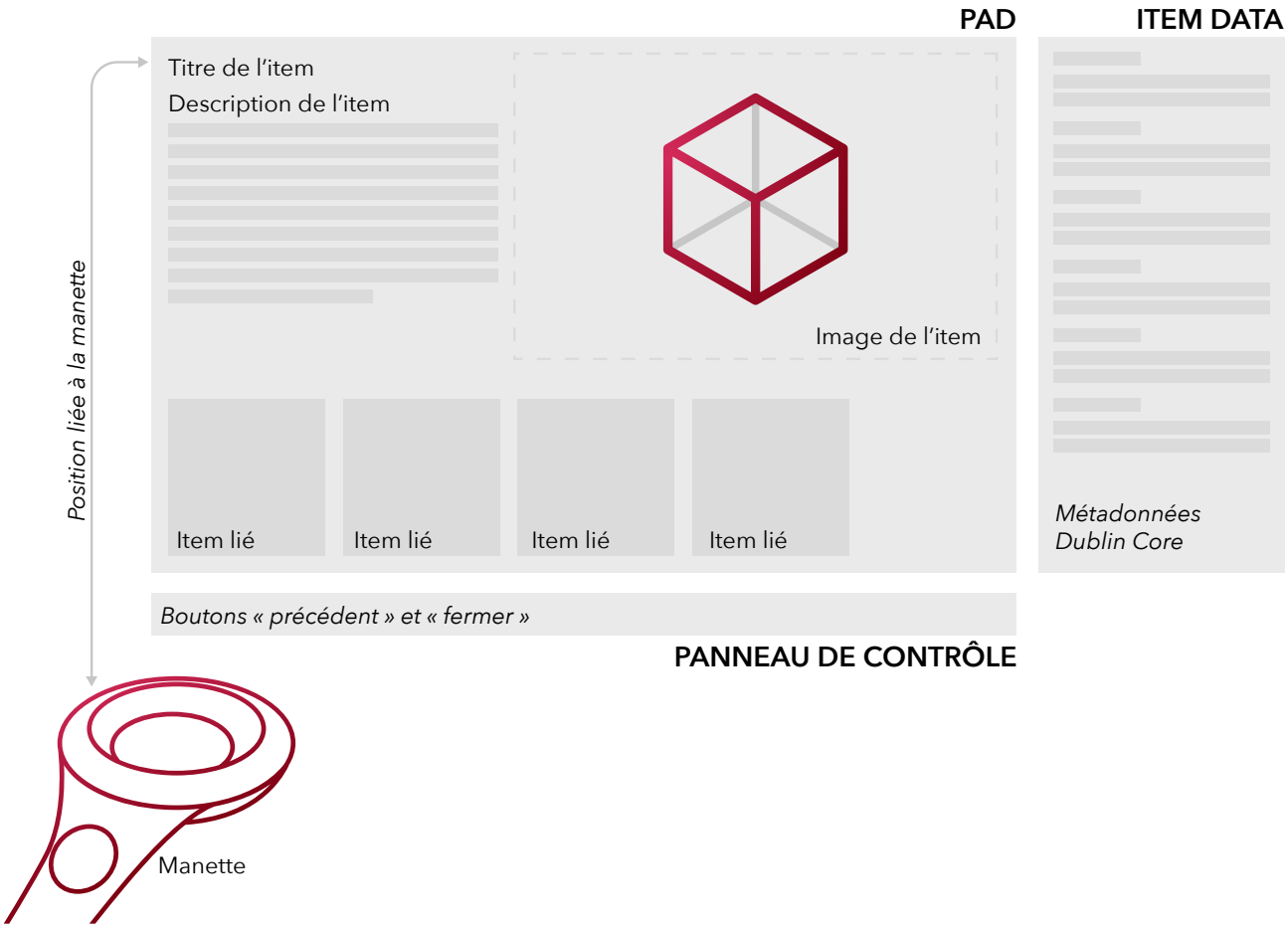


Fig. 123. **Concept d'interface pour la représentation des données dans PROUVÉ en Réalité Virtuelle.**

— le support d'affichage a une position fixe par rapport à la manette de l'utilisateur ;

Le premier positionnement a été testé par un stagiaire du laboratoire, Rémy Maige, pour l'affichage de données sur un environnement virtuel. L'intérêt de cette disposition est d'obliger l'utilisateur à se rapprocher de l'objet pour pouvoir lire le panneau virtuel, tout en étant assez souple et en autorisant la lecture des informations quelle que soit la position de l'utilisateur autour de cet objet. En revanche, cet affichage pose des problèmes d'accès aux notices de certains objets (où placer, par exemple, le panneau d'un objet accroché au plafond) qui rendent difficile son automatisation.

Le second positionnement a comme intérêt de pouvoir afficher des informations sur des objets lointains et dans une orientation idéale pour l'utilisateur. En concevant l'interface comme un plan dans l'axe du regard, la lisibilité du texte est maximale même avec des polices relativement fines ou de taille réduite et les images ne sont pas déformées. Cependant, la zone d'affichage occupe alors une grande partie du champ de vision de l'utilisateur, interdisant la visualisation de l'objet dans l'espace virtuel. Il donne également en réalité virtuelle l'impression de ne pas pouvoir se défaire de cette information puisqu'elle apparaît quelle que soit la direction du regard.

Le troisième positionnement étudié est celui retenu. Il s'agit d'un moyen de faire apparaître l'information toujours au même endroit pour l'utilisateur sans qu'il ait besoin de se déplacer (avantage du second positionnement), tout en laissant le loisir de visualiser les objets en réalité virtuelle et de ne pas regarder ces informations (avantage du premier positionnement). Nous avons donc imaginé que les informations s'affichaient sur un support dont la position est fixe par rapport à la manette gauche de l'utilisateur, que nous appelons Pad. Celui-ci contrôle donc la position de cette interface directement avec sa main gauche ce qui permet non seulement de la

cacher simplement (bien qu'il soit également possible de la fermer avec un élément d'interface) en mettant par exemple la main le long du corps ou dans le dos. Cela permet également de « zoomer » naturellement en approchant ou éloignant la manette gauche de ses yeux et de faire varier l'orientation du Pad de manière intuitive. Tout se passe donc comme si l'utilisateur avait dans la main gauche une tablette lui permettant d'obtenir des informations sur son environnement.

Concernant la disposition des informations elles-mêmes sur ce support, nous devions nous interroger sur les informations contenues dans la base que l'utilisateur devait pouvoir visualiser le plus rapidement possible (*Fig. 123*). Il s'agit selon nous du titre de l'item dans Omeka, de sa description, des images associées et des objets de la base en relation avec cet item (c'est-à-dire des sources utilisées, par exemple, pour la modélisation d'un objet lorsque l'on affiche l'alias). Nous avons fait le choix de laisser une place importante aux illustrations, en autorisant notamment leur affichage sur toute la surface du Pad. Le titre de l'élément est toujours affiché en haut du Pad, la description en dessous à gauche, l'image à droite. En dessous de l'ensemble, les relations dans la base sont affichées sous la forme d'éléments sélectionnables définissant le type de relation, le titre de l'élément lié et l'image de celui-ci. Lorsque la description est trop longue, il est possible de faire défiler le texte en utilisant un geste de glissement vertical avec le pavé tactile (le *swipe* de nos téléphones portables) de la manette contrôlant le Pad (la gauche, donc), et lorsque la liste des relations est également trop longue, il est possible de faire un geste de défilement horizontal sur ce même pavé tactile.

Notre brique logicielle OmekaPad est donc chargée de l'affichage des différentes informations sur cet élément. Nous avons précédemment insisté sur la possibilité d'apparition d'un délai entre le moment où l'utilisateur sélectionne un objet et le moment où les informations sont téléchargées depuis le serveur distant. Afin de ne pas laisser à l'utilisateur l'impression d'un bug, nous affichons le message « Merci de patienter » sur le Pad pendant le temps de chargement.

Il est possible, pour les utilisateurs les plus aguerris ou pour les experts, d'afficher des informations supplémentaires par rapport à celles présentées par défaut dans le Pad. En serrant fortement dans sa main la manette, l'utilisateur peut en effet faire apparaître un menu de commande permettant de quitter l'expérience, de la recommencer ou d'accéder au mode « pro ». Ce dernier mode permet l'affichage d'un panneau supplémentaire dans le Pad qui reprend l'ensemble des catégories renseignées du *Dublin Core* pour un item de la base de données. La date de création, le créateur ou encore le format sont ainsi visibles directement en réalité virtuelle.

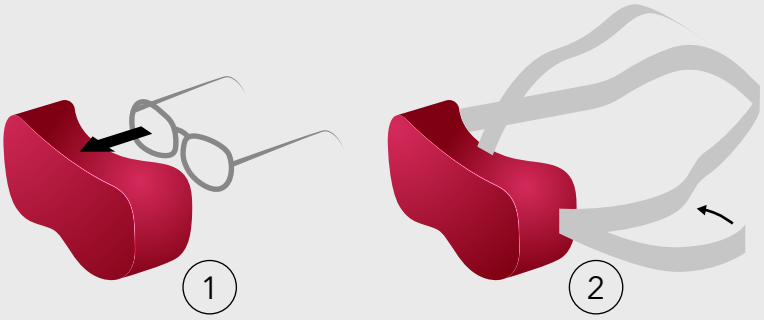
L'interface utilisateur pour le cœur de l'immersion dans l'espace restitué est limitée aux éléments précédemment décrits. Pour autant, on voit bien que cette interface ne permet pas les fonctions de commentaire que nous avions souhaité incorporer. Les prise en main de ces différentes interfaces dans un environnement virtuel nouveau pour la plupart des utilisateurs a en effet déjà nécessité la création d'une fiche explicative (*Fig. 124*). Nous avons fait le choix de baser la fonction de commentaire sur la télémétrie, ne nécessitant aucune intervention de l'utilisateur.

Instructions
Safety card

HTC Vive - VESPACE

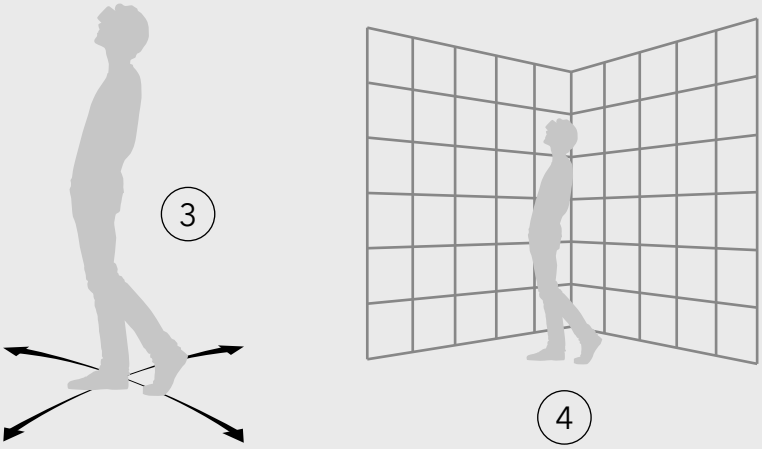
1. Placez d'abord le masque sur les yeux, gardez vos lunettes.
Un membre de l'équipage pourra venir vous aider.

2. Placez ensuite les sangles sur le crâne puis ajustez les velcros latéraux.



3. Une fois dans l'expérience, déplacez-vous librement dans l'espace virtuel en marchant.
Détendez-vous, tous les obstacles sont virtuels. L'équipage s'occupe de votre sécurité.

4. Si un grillage bleu apparaît : ne tentez pas de le traverser. Il symbolise la présence d'obstacles dans le monde réel, murs ou tables.



5. En cas d'apparition d'un environnement entièrement bleu, prévenez un membre de l'équipage. La situation devrait revenir à la normale en quelques secondes.

6. Pour passer outre les limites du grillage bleu (environ 3m*3m), vous devez vous téléporter. Appuyez sur le haut du bouton circulaire de la manette : un rayon ainsi qu'une cible vous indiquent la position de votre téléportation. Lorsqu'ils sont verts, lâchez le bouton et vous serez téléporté vers l'espace désiré.
Vous pouvez également demander à l'équipage de vous téléporter.

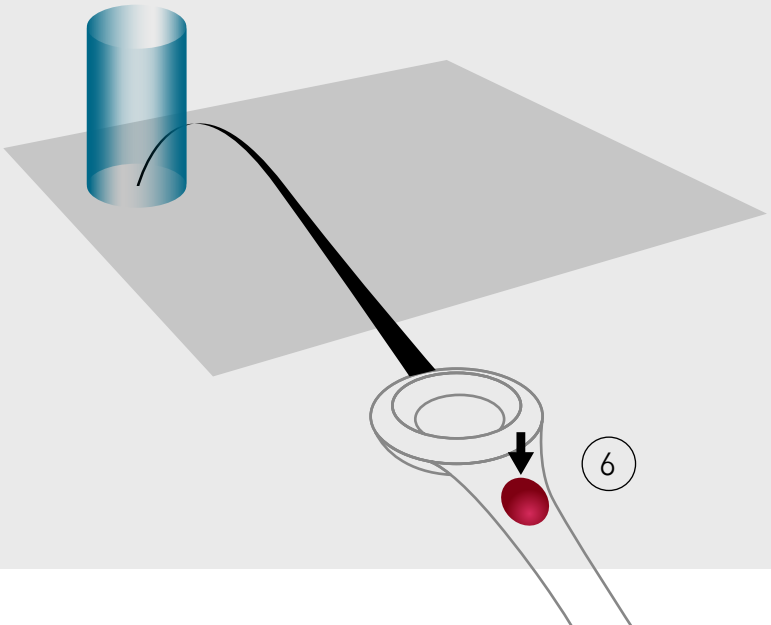
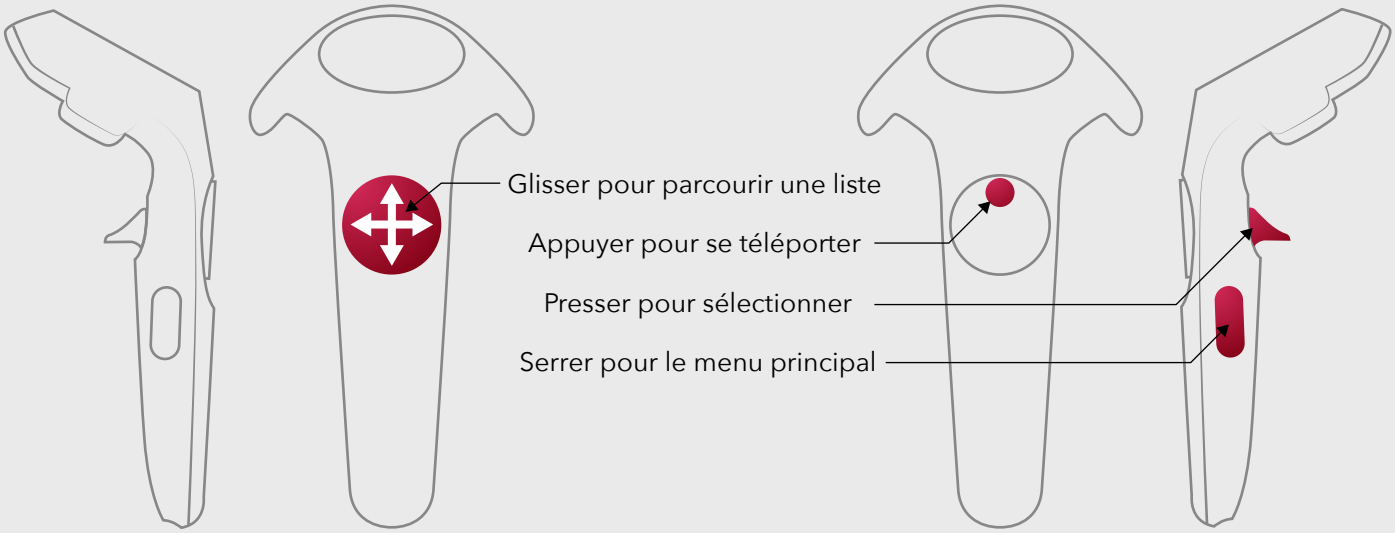


Fig. 124. Instructions d'usage distribuées avant une expérimentation en réalité virtuelle pour VESPACE.

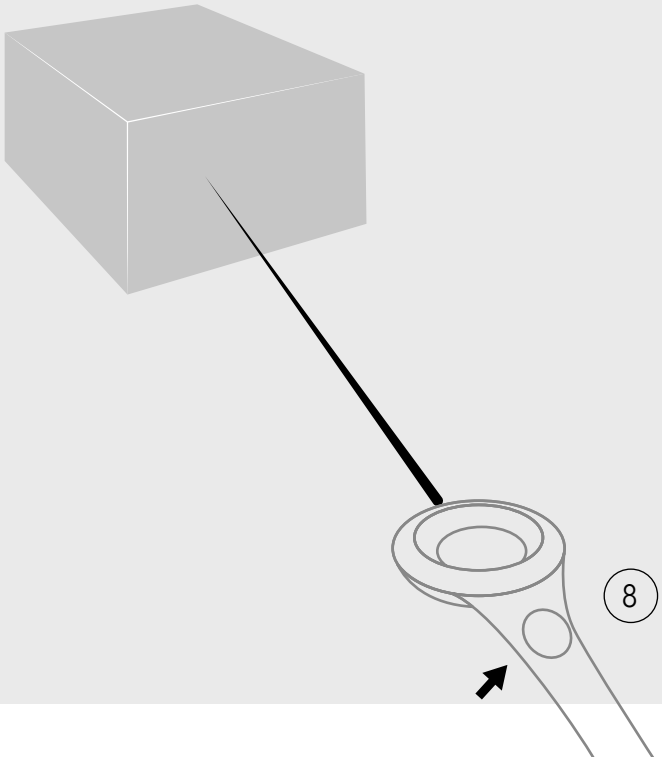
7 Interactions possibles avec les manettes.



Manette main gauche

Manette main droite

8 Pour sélectionner un objet, ou appuyer sur un élément d'interface, pointez-le avec la manette droite. Un laser deviendra bleu lorsqu'il pointera sur un élément cliquable. Pressez alors sur la gachette de la manette droite pour déclencher l'action correspondante.



La télémétrie dans PROUVÉ

Traditionnellement, le terme de télémétrie est utilisé pour désigner l'enregistrement de données sur un poste informatique à des fins d'analyse sur un autre poste dans le but de mesurer les performances et le fonctionnement d'un système. Dans notre cas, il s'agit de collecter des données sur le client de notre système PROUVÉ avec plusieurs objectifs : en permettre l'analyse *a posteriori* sur le serveur pour des raisons techniques et dans un but de recherche, mais également en permettre l'analyse sur le poste client lui-même afin d'améliorer en temps réel l'expérience. Grâce à la télémétrie, nous mettons en place les bases d'un système de commentaires et d'annotations, tout en permettant l'analyse de données nativement numériques.

Nous détaillerons dans un premier temps les données enregistrées et les moyens d'enregistrement, avant de préciser les usages de ces données télémétriques côté client (donc au sein même de l'expérience en réalité virtuelle) et côté serveur. Enfin, nous mettrons en avant les potentiels futurs qu'offrent l'analyse de ces données de télémétrie pour la recherche et la médiation.

Données enregistrées

La brique logicielle de PROUVÉ ExperienceManager est chargée de l'enregistrement des données de télémétrie pendant toute l'expérience d'un utilisateur, avant de la compiler en fichier JSON envoyé sur le serveur par le biais du DataCaller. Pendant la durée d'une expérience (qui peut aller jusqu'à vingt minutes), plusieurs des données suivantes sont enregistrées :

— un identifiant d'utilisateur[26] ;
— la date et l'heure de début de l'expérience ;
— l'heure de fin de l'expérience ;
— la position de l'utilisateur dans l'espace virtuel toutes les secondes ;
— la direction du regard de l'utilisateur toutes les secondes ;
— le flux audio en continu ;
— les éléments de la base de données qui ont été visualisés ;
— les mots-clés relatifs à ces événements ;
— les statistiques relatives aux mots-clés.

Parmi ces enregistrements, certains ne nécessitent aucune précision (identifiant de l'utilisateur, date de début et de fin, etc.) et pour d'autres nous devons préciser dans quelles conditions ils sont réalisés et avec quels moyens.

L'enregistrement de la position de l'utilisateur se fait au moyen du suivi de la position de la caméra dans l'espace virtuel. En effet, en réalité virtuelle, la caméra qui permet à l'ordinateur de calculer les images vues se déplace en fonction des données envoyées par les différents capteurs du système de casque en réalité virtuelle. Sa position est donnée dans l'espace virtuel, dans un référentiel absolu, et non dans l'espace réel : même à la suite de téléportations, les coordonnées renvoyées sont toujours celles de l'environnement virtuel, et non de l'espace de jeu. Nous enregistrons donc au sein d'une liste[27] toutes les secondes (intervalle modifiable) l'information contenue dans la matrice de transformation de la caméra attachée au joueur dans Unity :

```
playerCamera.transform.positon
```

26 S'il peut s'agir d'un nom et d'un prénom, la RGPD impose plutôt le recours à des informations anonymisées, et la plupart des informations dans notre base identifient l'utilisateur simplement par un identifiant numérique.

27 En C#, une liste est un tableau dans lequel il est possible d'ajouter des objets au fur et à mesure de l'exécution, ce qui correspond parfaitement à notre situation où il n'est pas possible de savoir en commençant la longueur de l'expérience et donc la taille du tableau.

En utilisant la même méthode, nous pouvons stocker dans une autre variable de type liste la direction du regard. Elle correspond à l'orientation de la caméra dans l'espace, également contenue dans la matrice de transformation de la caméra attachée au joueur :

```
playerCamera.transform.eulerAngles
```

Le flux audio est quant à lui enregistré depuis un micro connecté à l'ordinateur. Le casque HTC Vive contient son propre micro, placé au plus près de l'utilisateur, qui permet l'enregistrement de la voix de celui-ci de manière correcte, sans avoir besoin de placer un matériel et un câble supplémentaire. Il faut donc indiquer lors de l'exécution que nous souhaitons enregistrer depuis ce micro interne, puis lancer l'enregistrement. Par défaut, le mécanisme d'enregistrement de Unity ne peut lancer l'enregistrement audio que pour une période de temps donnée, qu'il nous est impossible de connaître en commençant l'expérience. Nous devons donc contourner ce problème en lançant les enregistrements toutes les secondes puis en les stockant dans une liste avant de les combiner, en fin d'expérience, en un seul clip audio. Pour l'enregistrement de ces données dans un format lisible rapidement, nous avons opté pour le format *Waveform Audio File Format* (WAV), qui ne nécessite pas d'opération de compression (à la différence d'un format comme le MP3[28]). C'est à Calvin Rien[29] que nous devons un script permettant d'enregistrer les clips audio Unity au format WAV de manière rapide, script que nous avons utilisé pour produire les fichiers sons envoyés ensuite sur le serveur.

À chaque nouvelle demande d'affichage d'un élément de la base de données, l'identifiant de l'élément dans la base et le *timecode* relatif de cette action sont enregistrés dans une liste. On enregistre au même moment s'il s'agit de la visualisation d'un élément à partir d'un objet de la scène (visualisation de l'alias), ou s'il s'agit de la visualisation d'un élément en parcourant les relations de la base de données. Parallèlement, puisqu'à chaque entrée de la base Omeka peut correspondre un ensemble de mots-clés, ExperienceManager enregistre également les mots-clés associés dans une liste renvoyant pour chaque entrée au nombre de fiches visitées avec ces mots-clés. Il est donc possible de réaliser un classement des mots-clés préférés lors de la visite immersive, et ce classement est également enregistré.

Utilisation de la télémétrie côté client

Les informations enregistrées sont dans un premier temps utilisées lors de l'expérience elle-même, principalement dans l'objectif de faire des suggestions à l'utilisateur. Le système de suggestion vient répondre à deux problèmes légèrement différents : d'une part certains utilisateurs s'intéressant à un type d'objets particulier pourraient tirer partie de suggestions leur montrant d'autres objets de la scène du même type (un spécialiste de l'éclairage par exemple, pourrait vouloir être guidé dans tous les systèmes d'éclairage de la scène) ; d'autre part certains utilisateurs ne saisissent pas le potentiel de l'affichage d'informations sur l'environnement virtuel et il serait intéressant de les amener progressivement à utiliser ce système.

Pour produire une suggestion à l'utilisateur, ExperienceManager s'appuie sur le temps d'inactivité, c'est-à-dire le temps depuis la dernière interaction avec les objets de la scène ou avec le Pad. Si ce temps dépasse un certain seuil, alors le système suggère à l'utilisateur un élément de la base de données qui peut être : un item de la base

28 L'intérêt du format MP3 est bien sûr la taille réduite des fichiers audio. Il nécessite néanmoins une étape de compression qui dépasse le cadre de ce programme dédié à la réalité virtuelle. La compression du fichier audio pourrait être bénéfique au temps de transfert sur le serveur.

29 http://the.darktable.com

pour les utilisateurs du mode « pro » et un alias pour tous les autres utilisateurs. Un utilisateur « pro » pourra donc se voir suggérer un élément de la base qui n'a pas de lien direct et spatial avec l'environnement virtuel, tandis que seuls des objets de la scène pourront être suggérés à l'utilisateur classique. Pour effectuer ces suggestions, PROUVÉ s'appuie sur les statistiques des mots-clés : une recherche dans la base est effectuée pour trouver tous les éléments qui sont décrits à l'aide des deux mots-clés préférés de l'utilisateur. Si aucun élément n'existe avec ces deux mots-clés, alors une recherche est effectuée avec le seul mot-clé préféré. Dans l'état actuel du programme, rien ne se passe lorsqu'à cette étape la recherche ne retourne toujours rien, mais l'on pourrait s'intéresser au deuxième mot-clé préféré, ou suggérer un élément au hasard, par exemple. Lorsqu'une correspondance est trouvée, elle s'affiche sur le Pad et un lien apparaît sous la forme d'une droite verte entre le Pad et l'éventuel objet dans la scène à laquelle l'information se rapporte.

Pour les utilisateurs timides à l'utilisation du système, lorsque le délai d'inactivité est passé après le lancement de l'expérience, ExperienceManager tente alors de réaliser une suggestion. Puisqu'aucun item de la base de données n'aura alors été visité, la suggestion doit s'appuyer sur un élément par défaut, qui permet une première approche de l'espace virtuel et encourage l'utilisateur à utiliser le système. Si après avoir refermé le Pad l'utilisateur est toujours inactif, une deuxième suggestion sera réalisée, cette fois guidée par les mots-clés associés à l'élément par défaut : le cheminement au sein des informations est alors entièrement défini par l'objet par défaut.

L'intérêt de cette approche réside dans la personnalisation potentielle qu'elle offre pour peu que les mots-clés associés aux éléments soient assignés avec soin. Cette personnalisation se ferait également sans intervention de l'utilisateur, simplement sur la base de ses intérêts précédents. Elle reprend ainsi une idée formulée par Matthieu Quantin[30] qui permettait d'effectuer une visite guidée au sein d'un ensemble de données sur la base de la proximité temporelle, spatialle ou sémantique des données. Appliqué à l'outil de valorisation Nantes1900, ce système repose sur le concept simple que « l'interface propose à l'utilisateur des informations connexes à ce qu'il consulte »[31]. Dans le cas de Nantes 1900, les informations permettaient d'être consultées selon trois dimensions : temporelles, spatiales et thématiques. Dans notre cas, les informations temporelles et spatiales sont extrêmement contraintes par l'environnement virtuel, de sorte qu'il ne reste plus que la dimension thématique.

Il serait également possible de faire choisir à l'utilisateur une série de thèmes d'intérêt, correspondant à des mots-clés, en début d'expérience. Avec un système de pondération adéquat, les informations relatives aux thèmes préférés de l'utilisateur lui seraient donc suggérées en priorité. Pour le chercheur, cela lui permettrait de se concentrer en priorité sur une thématique de recherche, pour l'utilisateur classique, cela éviterait d'avoir recours à un élément par défaut qui peut ne pas l'intéresser.

Utilisation de la télémétrie côté serveur

À la fin de chaque expérience, les données de télémétrie sont compilées dans un fichier JSON et envoyées sur le serveur Omeka en y créant un nouvel item d'un type particulier, personnalisé, appelé VR Experience. Le titre de cet item prend la forme « Experience N » où N est le code alphanumérique de l'expérience, le créateur est l'identifiant de l'utilisateur de cette expérience, l'éditeur est la version du logiciel PROUVÉ et la date est celle de l'expérience. Joints à cet item figurent le relevé complet des informations de télémétrie (au format .txt) et l'audio complet de la séance (au format .wav). Que faire de ces informations ? Dans un premier temps, le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) oblige à permettre à l'utilisa-

30 Quantin *et al.* 2016.
31 *Ibid.*, p. 108.

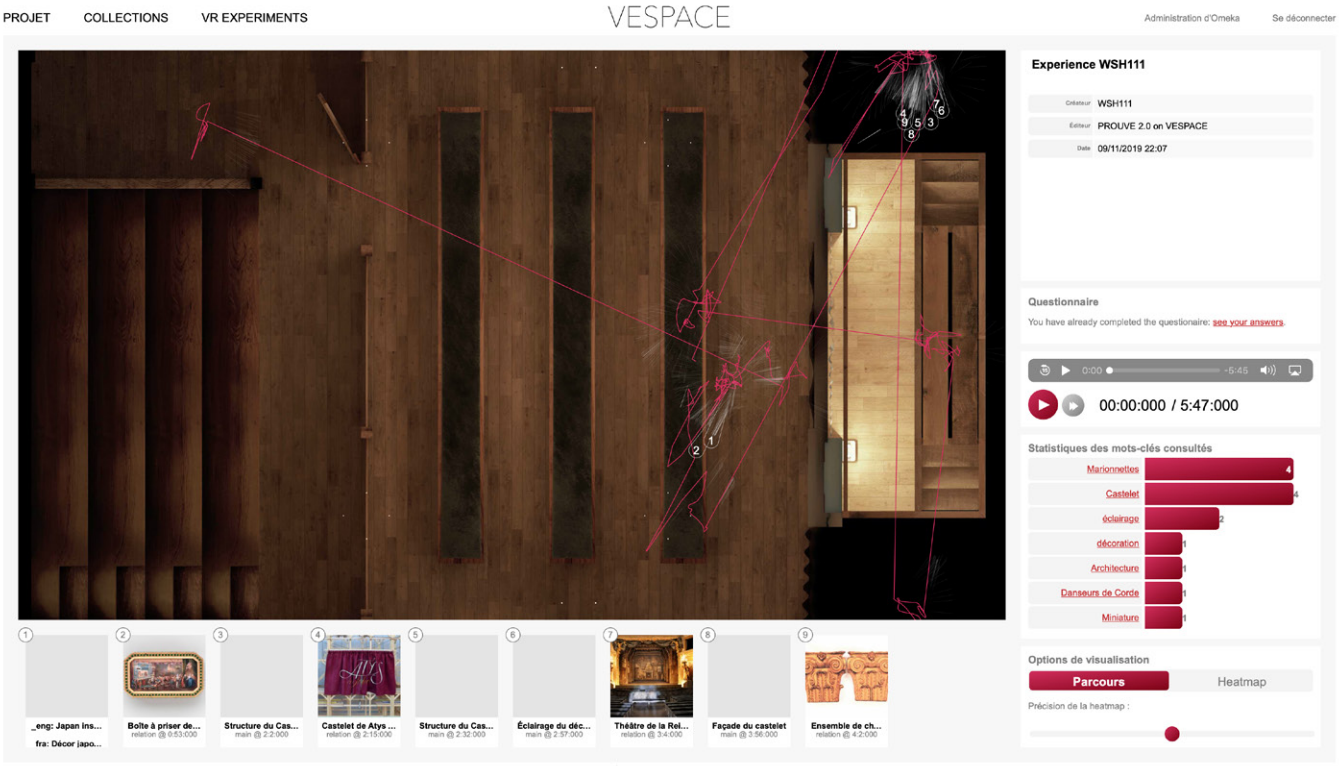


Fig. 125. Espace de consultation d'une expérience dans la base Omeka de VESPACE.

teur d'avoir connaissance des données enregistrées lors de l'utilisation d'un service et de pouvoir les visualiser. Outre cette obligation, nous souhaitons également pouvoir établir des statistiques et extraire des informations à partir des données enregistrées.

Afin de consulter les données associées à ce type d'item que nous avons appelé VR Experience nous avons entrepris la création d'un plugin pour Omeka, en respectant les codes et les contraintes de l'environnement Zend. L'idée de ce plugin est de permettre d'afficher de manière interactive les données à partir de la saisie du simple identifiant unique reçu lors de l'expérience en réalité virtuelle. L'interface s'organise autour d'un plan de l'espace visité en réalité virtuelle sur lequel est principalement tracé le trajet de l'utilisateur lors de son expérience (*Fig. 125*). Le long de ce trajet s'affichent également des segments blancs qui correspondent à la direction du regard de l'utilisateur, en plan. En plus de ces informations, le plan indique également là où les différentes entrées de la base Omeka ont été consultées. Ce plan, en mode « parcours », peut également être visualisé en mode « *heatmap* » : l'ensemble de la surface du plan est alors divisée en plus petites unités (dont la taille est réglable par l'utilisateur) afin de visualiser d'un coup d'œil les endroits où il a passé le plus de temps.

Sur la partie droite de l'écran, l'utilisateur a également accès à un panneau permettant de visualiser les données de l'item Omeka correspondant à l'expérience et à la lecture de l'enregistrement audio de son expérience. Les statistiques liées aux mots-clés visités sont également affichées sous une forme d'histogramme. En bas de la page, un bandeau permet de visualiser l'ordre et l'ensemble des éléments affichés en réalité virtuelle. Un bouton « lecture » permet à l'utilisateur de lancer simultanément la lecture du fichier audio et le tracé de la trajectoire en temps réel (ou en accéléré). Il est ainsi possible de revivre l'expérience à partir des données de télémétrie. Lorsque un élément de la base de données est affiché par l'utilisateur, sa représentation en bas de l'écran grossit.

L'utilisateur qui voit ses données peut ainsi comprendre dans quel contexte ses commentaires audio ont été dits. Cette présentation est également intéressante pour le chercheur afin de pouvoir traiter ces séances immersives à la manière d'inter-

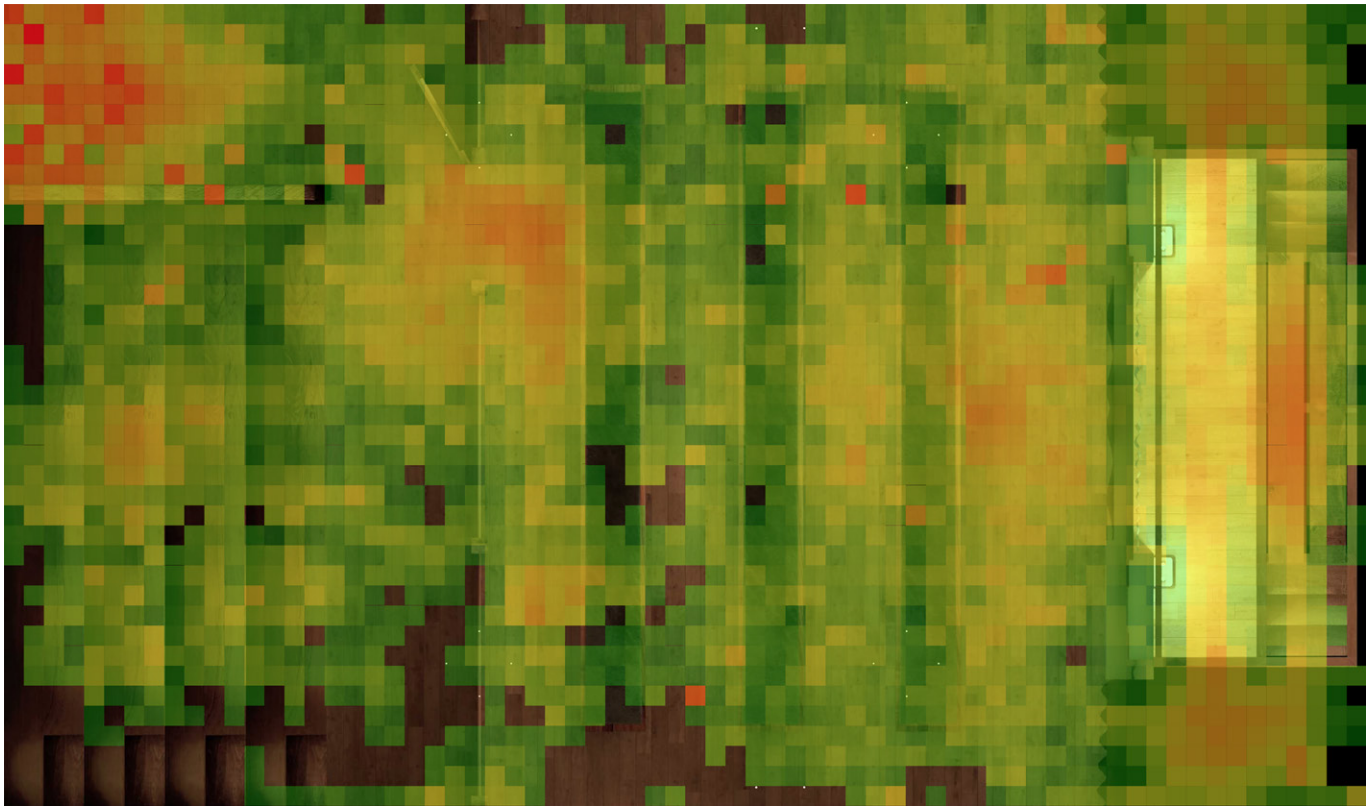


Fig. 126. Carte représentant les lieux les plus fréquentés de la restitution du théâtre de marionnettes, de non fréquenté (transparent puis vert) à très fréquenté (rouge).

views[32] : tous les éléments de contexte sont là pour permettre au chercheur de mieux comprendre la trajectoire ou le regard d'un utilisateur (et éventuellement d'un expert). Il est ainsi possible d'extraire des informations de chaque expérience prise individuellement.

Parallèlement, prises dans leur globalité ou par groupe, les expériences d'utilisateurs peuvent également apporter des informations intéressantes. Le mode « parcourir les expériences » de notre utilitaire propose ainsi de visualiser le résultat de toutes les expériences (par défaut), ou d'un sous-ensemble (après sélection) des expériences sous la forme d'une *heatmap*. Il est ainsi possible de visualiser les zones d'intérêt pour un certain groupe d'utilisateurs : s'il n'est pas forcément révélateur pour l'historien, ce mode peut néanmoins orienter la phase de médiation.

Futurs potentiels

Si dans leur état actuel les données permettent déjà d'obtenir des informations intéressantes, nous ne pouvons pas parler à proprement parler d'annotation. Dans son état actuel le système est trop générique pour que l'on puisse repérer facilement un commentaire sur un élément de la restitution virtuelle ou de la base de données. L'écoute de l'ensemble des enregistrements est certes possible, mais trop long pour être efficace dans le cadre de sessions particulièrement longues ou nombreuses.

Cependant, en connaissant d'une part la position et l'orientation du regard de l'utilisateur et d'autre part le modèle tridimensionnel dans lequel l'utilisateur est immergé, il nous paraît envisageable de déterminer à quel élément telle section de l'audio s'applique. Une telle attribution automatique des commentaires audio s'appuierait sur les principes suivants (*Fig. 127*) :

32 Pour l'usage de l'interview dans la méthodologie de l'historien, nous renvoyons à : Descamps 2005.

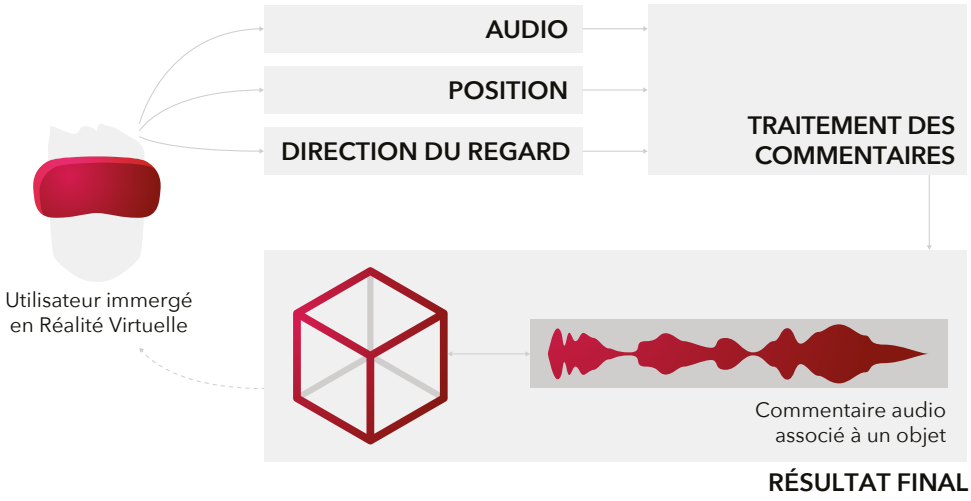


Fig. 127. Concept de traitement des commentaires audio à partir des informations de télémétrie.

— découpe du flux audio en s'appuyant sur les silences, les intonations ou des éléments de langage ;
— détermination des objets candidats au commentaire, à partir des données de position et de direction du regard, et du modèle 3D en identifiant vers quels objets du modèle se portait l'attention au moment du commentaire ;
— choix de l'objet commenté sur la base d'une sélection manuelle ou automatique grâce à des mots-clés repérés dans le discours oral ;
— (éventuellement) transcription automatique du discours et enregistrement au format texte.

Cette méthode permettrait ainsi un moyen d'annotation en réalité virtuelle sans avoir recours à une interface supplémentaire, donc en réduisant le temps d'apprentissage et en augmentant les chances d'obtenir les commentaires qui pourraient paraître anodins à certains experts mais qui sont pourtant sources d'informations.

Ces informations permettent également d'autres usages futurs, notamment des visites guidées réalisées à partir de l'enregistrement d'experts. À partir de la position de l'expert, il est possible de guider l'utilisateur dans l'espace virtuel (soit parce que le guide virtuel est représenté sous la forme d'un avatar, soit parce qu'il est représenté sous une forme abstraite qui pousse l'utilisateur à le suivre). La diffusion au fur et à mesure de l'audio en immersion indique alors à l'utilisateur des éléments importants de la restitution qu'il visite tandis que les mêmes données consultées par l'expert, et conservées dans les données de télémétrie, sont affichées sur le Pad de l'utilisateur. Nous pourrions imaginer plusieurs visites guidées en fonction de la spécialité des experts : de même qu'il existe de nombreuses visites thématiques de lieux culturels (de musées, de lieux iconiques comme le cimetière du Père Lachaise ou de villes entières comme Paris) nous pourrions imaginer ce type de visite en réalité virtuelle uniquement à partir des données télémétriques.

PROUVÉ et le théâtre de marionnettes

Nous avons développé PROUVÉ parallèlement à la restitution du théâtre de marionnettes à partir de la miniature de Louis-Nicolas van Blarenberghe. C'est donc tout naturellement dans cet environnement virtuel que nous pouvons tester le comportement de notre outil auprès de différents publics. Pour ce faire, il convient dans un premier temps d'expliciter le choix des objets possédant un alias dans notre restitution, mais également des différentes sources mises en avant. Nous reviendrons aussi sur la conception de l'expérience utilisateur complète, depuis l'accueil d'un utilisateur dans l'environnement réel jusqu'à son immersion dans le dispositif : il s'agit en effet d'une réflexion globale sur l'usage d'un dispositif de réalité virtuelle pour le grand public. Enfin, nous pourrons analyser les résultats de questionnaires distribués à certains utilisateurs dans le cadre d'une démonstration au congrès de l'*American Society of Theatrical Research* (ASTR) aux États-Unis, à Washington, en novembre 2019.

Les objets, leurs alias et leurs sources

Le choix des objets sélectionnables dans la réalité virtuelle n'est pas automatique : le processus de restitution ainsi que l'incomplétude des sources impose, dans le cas du théâtre de marionnettes, que seuls certains objets de la restitution soient dotés d'un alias. Parallèlement, tous les objets possédant un alias n'ont pas nécessairement un intérêt pour les différents publics visés par le dispositif. Un choix est donc nécessaire et s'apparente à la sélection d'œuvres dans le cadre d'une muséographie : quels sont les objets qui permettront au mieux d'illustrer le propos ? Nous en revenons donc à l'un de nos objectifs, à savoir permettre de véhiculer par la réalité virtuelle une théorie ou un propos scientifique. Il convient donc de choisir en premier lieu un propos à illustrer par le choix des objets.

Le propos derrière la visite du théâtre de marionnettes

Dans le chapitre précédent, nous avons mis en évidence le contexte de la réalisation de cette restitution de théâtre de marionnettes. L'histoire de la Foire Saint-Germain y tient une place majeure puisque c'est la disparition de ce lieu emblématique des spectacles urbains parisiens qui nous a mené à entreprendre la restitution de ce petit théâtre. De même, c'est l'absence de sources directes, voire archéologiques, qui nous a obligé à nous intéresser à une miniature pour servir de source principale à ce projet. Or, ces deux éléments ne peuvent être interprétés sans connaître le contexte des spectacles parisiens et la guerre des théâtres qui a lieu dans le Paris du début du XVIII^e^ siècle. Ces données plantent le contexte historique de la démarche de restitution.

Parallèlement, nous devons également souligner l'importance de l'environnement virtuel comme étant hypothétique. À chaque étape de notre restitution, nous avons dû faire des choix que nous avons appuyé par des arguments mais d'autres choix étaient possibles et auraient probablement mené à un théâtre bien différent. L'enjeu est donc de laisser comprendre à l'utilisateur que l'environnement virtuel traduit une interprétation des sources, mais qu'il ne saurait être une représentation définitive des théâtres forains parisiens du XVIII^e^ siècle.

Enfin, cet espace restitué du XVIII^e^ siècle traduit des usages et des mœurs qui sont différents de ceux auquel l'utilisateur peut être habitué. L'éclairage, la dimension de la salle, les séparations entre les publics, le spectacle de marionnettes sont autant

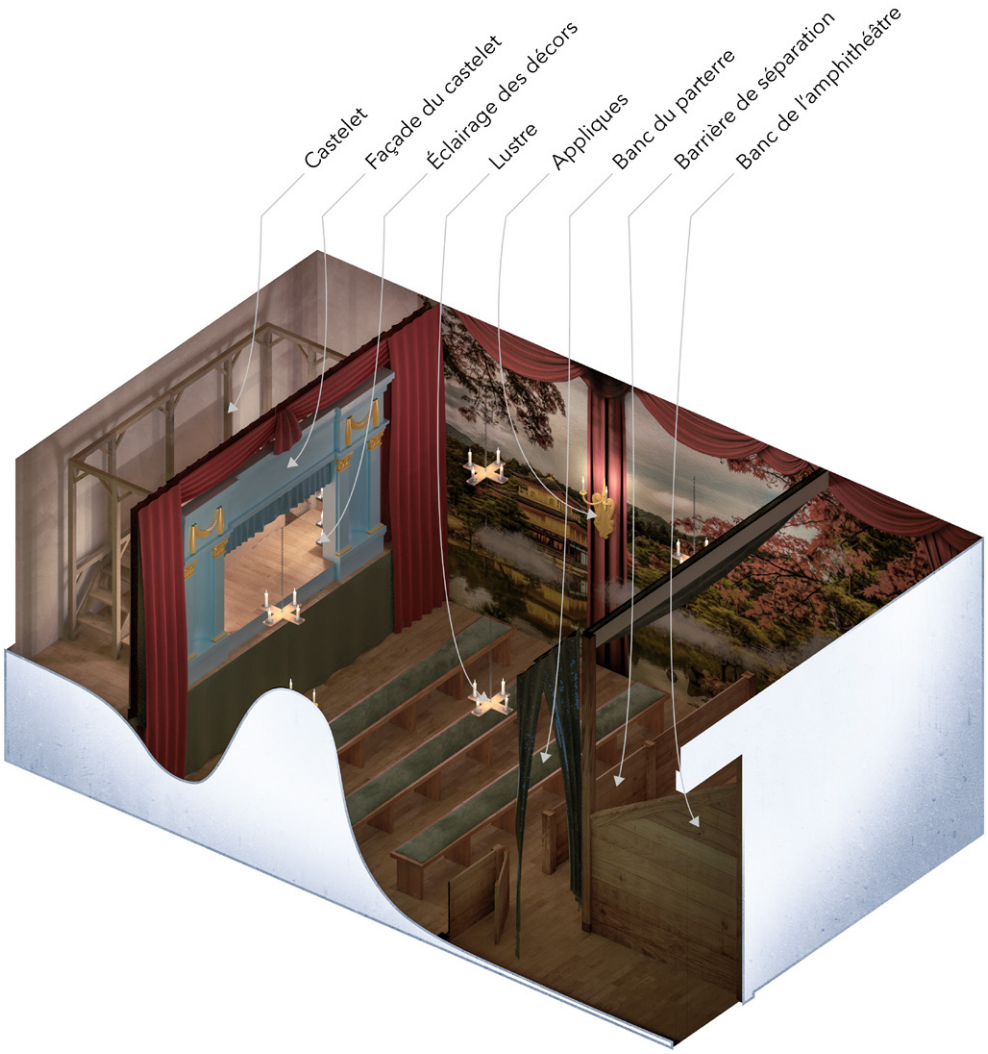


Fig. 128. Les objets sélectionnables et leur localisation dans le théâtre de marionnettes.

d'éléments qui nécessitent une explication pour pouvoir être correctement compris par le visiteur.

Si tous ces propos traduisent tant les enjeux multidisciplinaire de ce projet que la complexité du contexte historique de la restitution de cet espace, leur nombre rend difficile leur présence avec une même importance au sein de l'environnement virtuel. Nous pensons que la notion d'usage et de mœurs est la plus importante à exprimer en réalité virtuelle, puisqu'elle se base principalement sur l'expérience vécue par l'utilisateur. Vient ensuite la nécessité de la validité scientifique mais hypothétique de la restitution. En dernière position vient le contexte historique de ce théâtre. Dès lors, nous avons pris le parti de développer avec une importance inverse ces thèmes en dehors de l'expérience virtuelle.

Objets et alias choisis

Le cœur de l'expérience en réalité virtuelle doit donc appuyer la description des usages dans le théâtre de marionnettes de la Foire Saint-Germain à Paris au XVIII^{e} siècle. Pour cela, nous avons choisi d'aborder à partir des objets de la scène (*Fig. 128*) trois thématiques majeures, qui sont : le spectateur, l'éclairage et les marionnettes.

Le spectateur

Au sein de l'espace du théâtre de marionnettes, trois éléments peuvent évoquer directement les spectateurs (qui, eux, ne sont pas représentés en réalité virtuelle) : les bancs du parterre, les bancs de l'amphithéâtre et la barrière de séparation entre

ces deux espaces. Les alias de ces trois types d'objets (les trois bancs du parterre renvoyant au même alias) expriment ainsi les usages concernant le placement du spectateur, leur déplacement et le prix relatif des places dans cet espace.

Pour les bancs du parterre nous avons placé le texte suivant, renvoyant à plusieurs thématiques dont l'organisation d'une salle de théâtre, les costumes du XVIII^e^ siècle et la place de la femme dans le théâtre, et l'interprétation hypothétique de la source principale de la restitution :

> Le parterre désigne l'espace de la salle au sol plat ou légèrement incliné en face de la scène. Lorsqu'il n'y a pas d'assises on dit qu'il est «debout». Ici, le parterre est «assis» puisque des bancs sont présents. Dans cette salle, il fait partie des meilleurs emplacements pour suivre une pièce au théâtre, et correspond donc aux places les plus chères réservées aux spectateurs les plus aisés.
> L'écartement réduit des bancs laisse envisager la difficulté avec laquelle les femmes nobles, pour certaines habillées d'une robe à panier, pouvaient se déplacer dans cet espace contraint.
> Les bancs du parterre, en bois recouverts d'une assise rembourrée de velours vert sont bien représentés sur la miniature de Blarenberghe. Il n'est pas clair en revanche s'ils laissent place à un passage central dans la salle, mais la petite taille de cette dernière ainsi que la volonté de conserver les meilleures places assises nous poussent à les restituer sur toute la largeur de la salle.

Outre le texte de présentation, nous pouvons donc également ajouter les mots-clés « Mobilier », « Spectateur », « Femme » et « Costume » à cet alias. Il renvoie par ailleurs avec la relation « source » à la miniature de Blarenberghe et avec la relation « relation » aux items thématiques « Le spectateur au théâtre au dix-huitième siècle » et « Le costume des femmes au dix-huitième siècle ».

Pour les bancs de l'amphithéâtre, un autre texte renvoie également aux thématiques du spectateur dans la salle de théâtre, des plans, du prix des places et de l'interprétation hypothétique :

> Ces places au fond de la salle, à la visibilité réduite par l'éloignement de la scène, sont les moins chères du théâtre et les spectateurs qui s'y trouvaient étaient donc les plus pauvres.
> L'amphithéâtre (c'est ainsi que l'on nommait ces places), est simplement esquissé dans la miniature de Blarenberghe qui sert de base à cette restitution.
> Il est difficile de savoir si les spectateurs s'y tenaient assis ou debout, mais par comparaison avec des plans d'époque, il est probable que les spectateurs y aient été assis.

Nous pouvons donc affecter les mots-clés « Mobilier », « Spectateur », « Architecture », à cet alias. Il renvoie par la relation source à la miniature de Blarenberghe, mais également à deux plans conservés dans la base Omeka : un plan de 1772 montrant les assises dans l'amphithéâtre, et un plan de 1722 d'un théâtre de marionnettes où l'on voit également l'amphithéâtre. Il renvoie également à l'item thématique « Le spectateur au théâtre au dix-huitième siècle ».

Enfin, la petite barrière de séparation entre le parterre et l'amphithéâtre évoque la question de la visibilité dans le théâtre et celle des métiers du théâtre :

> Cette petite barrière, suffisamment basse pour ne pas gêner la visibilité depuis le fond de la salle, sépare le parterre (à l'avant), de l'amphithéâtre (à l'arrière).
> Une ouvreuse s'assurait que tous les spectateurs du parterre possédaient une place dûment payée et leur ouvrait le cas échéant la porte pour y accéder.

Nous avons donc affecté les mots-clés « Spectateur », « Architecture » et « Métiers » à cet alias. Celui-ci est en relation avec la miniature mais également avec la fiche thématique « Les autres métiers du théâtre » et « Le spectateur au théâtre au dix-huitième siècle ».

Les textes que nous proposons pour chacun de ces éléments sont relativement courts : la lecture de textes est en effet parfois difficile dans un environnement de réalité virtuelle et nous devons garder l'utilisateur captivé. Dès lors, à partir de ces trois courts textes nous avons pu faire naître dans l'esprit de l'utilisateur des questionnements sur l'usage de l'espace, la différenciation des publics, l'architecture et la restitution que nous en faisons. Si toutefois l'utilisateur souhaite approfondir certaines de ces thématiques, nous proposons des fiches, au texte également réduit, à propos des enjeux suivants : le spectateur au théâtre, les costumes des femmes et les autres métiers du théâtre. Les sources de ces fiches ainsi que celles des alias sont également disponibles et permettent d'être visualisées, chacune avec leur propre jeu de mots-clés afin d'orienter au mieux les suggestions de PROUVÉ.

L'éclairage

Trois types d'objets dans le théâtre de marionnettes renvoient à la thématique de l'éclairage. Il s'agit des appliques que l'on retrouve sur les murs, des quatre lustres qui pendent du plafond, et des éclairages des décors. Nous avons créé un alias pour chacun de ces types d'objets. Au travers de la problématique de l'éclairage, nous pouvons aborder les questions de la visibilité dans l'espace, des métiers du théâtre et des décors, par exemple.

Concernant les appliques murales, le texte qui les décrit aborde principalement la question de la restitution :

> Les appliques sont simplement évoquées dans la miniature de Louis-Nicolas van Blarenberghe. On y distingue clairement les deux chandelles qui les composaient et quelques volutes qui devaient orner le métal doré.
> Lors de la représentation, la lumière reste allumée dans le théâtre et selon la longueur de la pièce jouée, il est parfois nécessaires de changer les chandelles : un employé du théâtre se charge alors de les moucher (réduire la longueur de la mèche) ou de les changer.
> La restitution en détail s'est donc inspirée des modèles réalisés aujourd'hui par un artisan spécialisé dans l'artisanat et les luminaires du XVIII^{e} siècle.

Cet alias porte les mots-clés « Éclairage » et « Métier », et est en relation avec la miniature de Blarenberghe, l'artisan de luminaires et les fiches thématiques « L'éclairage au théâtre » et « Les autres métiers du théâtre » .

Le texte des quatre lustres est quant à lui plus réduit et n'évoque que le processus de restitution :

> Tels que représentés dans la tabatière, les lustres sont simplement composés de deux planches croisées, maintenues par une chaîne au plafond. À chaque extrémité de planche, un bougeoir métallique soutient une chandelle.

Il est simplement associé au mot-clé « Éclairage » et en relation avec la miniature et la fiche thématique « L'éclairage au théâtre ».

Enfin, les éclairages des décors reçoivent la description suivante :

> L'éclairage du décor est composé d'une structure en métal réfléchissant portant deux chandelles. Appliqué à l'arrière d'un décor ou d'une structure, il éclaire le décor sans être vu du public.

> La durée de combustion des chandelles limite la durée des représentations théâtrales puisqu'il est parfois nécessaire de les changer ou de les moucher au cours d'une soirée théâtrale.
> Dès le début du XVIII[e] siècle, des dispositifs permettent de réguler ou de colorer l'éclairage produit par ces chandelles afin de produire de nombreux effets. L'usage de tels dispositifs n'est pas attesté dans ce théâtre de marionnettes.

Cet alias possède les mots-clés « Éclairage », « Machineries », « Métiers » et « Mise en scène ». Il renvoie, en plus de la miniature, aux fiches « L'éclairage au théâtre », « Les autres métiers du théâtre » et « Machines de théâtre ».

Les marionnettes

Deux objets dans la scène permettent d'avoir accès à des informations sur les marionnettes : il s'agit de la façade du castelet et du castelet lui-même. Le texte descriptif de l'alias du castelet est le suivant :

> Le castelet est la structure permettant de jouer des marionnettes : elle cache les marionnettistes tout en fournissant une structure permettant de contrôler le décor, les éclairages et les marionnettes elles-mêmes.
> La façade du castelet est composée de deux éléments latéraux avec niche, pouvant abriter une sculpture, et un fronton orné d'une imposante corniche. L'ensemble est rehaussé de dorures qui captent la lumière sur des éléments clés : chapiteaux, boudins et motif floral (guirlandes et gerbes) du fronton.
> Le détail des chapiteaux provient de chapiteaux de bois d'époque.

Les mots-clés associés sont « Castelet » et « Marionnettes » et l'alias est en relation avec le jeu de chapiteaux ayant servi de source pour la réalisation du modèle des chapiteaux ainsi qu'avec une fiche thématique sur « La manipulation des marionnettes à tringle et à fil ».

Le castelet, quant à lui, est associé à la description suivante :

> Le castelet est la structure permettant de jouer des marionnettes. Elle comprend la scène pour les marionnettes, les machineries du décor, le pont permettant de manipuler les marionnettes et les accès.
> La structure restituée ici est inspirée par le castelet créé pour le spectacle *Atys en Folie* en 2016.

Les mots-clés sont les mêmes que pour la façade du castelet, et l'alias est lié à la source « Castelet de *Atys en Folie* » présentant des photos et une description de ce castelet, ainsi qu'à la fiche thématique « La manipulation des marionnettes à tringle et à fil ».

La conception d'une expérience utilisateur

Malgré la possibilité d'afficher des interventions en réalité virtuelle, l'ensemble du propos associé à la restitution du théâtre de marionnettes ne peut être véhiculé par ce moyen. De même, pour la plupart des utilisateurs, l'idée d'une immersion en réalité virtuelle avec un matériel souvent inconnu est à la fois source d'excitation et d'appréhension. Pour permettre à l'utilisateur de tirer le meilleur potentiel d'une visite du théâtre de marionnettes en réalité virtuelle, nous avons donc cherché à concevoir une expérience complète, depuis l'accueil de l'utilisateur jusqu'à l'utilisation des données de télémétrie. Une telle expérience est notamment utile lorsque des groupes d'utilisateurs doivent être gérés, ce qui est le cas lors de démonstrations ou

Fig. 129. Installation des panneaux de présentation du projet lors du congrès ASTR à Washington en Novembre 2019.

de congrès scientifiques, dans le cadre d'une diffusion scientifique notamment, ou d'une campagne d'acquisition de retours d'experts. L'expérience complète que nous avons mise en place se base sur cinq étapes qui sont le conditionnement, la familiarisation, l'immersion, le questionnaire et la revue des données.

1) Conditionnement de l'utilisateur

La première étape de l'expérience consiste donc à présenter à l'utilisateur les enjeux principaux liés au projet de recherche, ici, VESPACE. Nous avons choisi d'ancrer cette étape dans la réalité en réalisant sous forme de cinq panneaux imprimés de grande taille (183 × 85 cm) présentant les enjeux du projet (*Fig. 129*). Réalisés en collaboration avec Françoise Rubellin, Florent Laroche et Jeffrey Leichman, ils permettent non seulement de mettre en évidence le contexte historique spécifique des théâtres forains parisiens du XVIII^e^ siècle, mais également des points techniques de réalité virtuelle ou de *knowledge management*. Cinq panneaux abordent donc les thématiques suivantes : histoire de la Foire Saint-Germain, littérature des pièces foraines, rétro-architecture, sciences numériques et *knowledge management*. Ils proposent ainsi de répondre à cinq questions :

— Qu'est-ce que la Foire Saint-Germain ?
— Quelles pièces jouait-on à la Foire Saint-Germain ?
— Comment restituer un théâtre du XVIII^e^ siècle ?
— Comment immerger des utilisateurs dans la réalité virtuelle ?
— Comment utiliser cet outil pour la recherche ?

Sur chacun de ces panneaux, nous avons accordé une part importante à l'image et notamment aux documents d'époque (plans, extraits de pièce, photographies des œuvres de Blarenberghe, etc.) qui permettent à l'ensemble des publics de s'y intéresser. De même, le texte a fait l'objet d'un soin particulier afin qu'il réponde clairement et simplement aux questions du grand public tout en proposant des éléments suffisamment précis pour planter le contexte de la recherche auprès de la communauté scientifique. Les panneaux peuvent être consultés en toute autonomie, sans réel ordre, ce qui permet à l'utilisateur de s'attarder sur les thématiques qui l'intéressent le plus.

Dans cette phase, nous faisons également remplir à l'utilisateur, en deux exemplaires (l'un étant conservé par le participant), un accord de principe concernant

Fig. 130. Espace de familiarisation de l'utilisateur avec les commandes de la réalité virtuelle et de PROUVÉ. L'utilisateur commence assis sur le banc visible en bas à gauche.

l'utilisation des données à des fin de recherche, conformément à la Réglementation Générale sur la Protection des Données. Ce formulaire détaille les objectifs du projet VESPACE et les traitements qui seront réalisés à partir des données collectées ; les types de données collectées ; la durée et le lieu de conservation des données ainsi que les modalités d'accès aux données. Chaque utilisateur se voit assigner à cette étape un identifiant unique lui permettant, après l'expérience, d'avoir accès à ses données et d'en demander, éventuellement, la suppression. L'utilisateur doit indiquer, son nom et la date et signer le formulaire.

Enfin, l'utilisateur reçoit également une fiche explicitant l'utilisation du dispositif de réalité virtuelle : comment mettre le casque, utiliser les manettes ou se téléporter dans l'espace virtuel (*Fig. 124*). Sans prétendre pouvoir enlever à l'utilisateur toute appréhension d'utilisation, cette fiche permet néanmoins d'expliciter certaines des fonctions disponibles. Dans la plupart des situations, l'utilisateur peut également visualiser d'autres utilisateurs en train d'utiliser le dispositif, ce qui permet de mieux appréhender l'expérience de réalité virtuelle.

2) Familiarisation de l'utilisateur

Lorsque l'utilisateur met le casque de réalité virtuelle, l'expérience commence. Il n'est cependant pas immédiatement placé à l'intérieur du théâtre de marionnettes : les premières minutes de l'expérience sont en effet consacrées à la découverte de la réalité virtuelle, du matériel, et de PROUVÉ. Pour ce faire, nous avons conçu un environnement virtuel adapté à l'imprégnation avec l'outil qui sollicite graduellement les différentes interactions possibles en réalité virtuelle (*Fig. 130*).

L'environnement virtuel reprend la forme d'une petite cour à ciel ouvert, fermée de quatre murs, dans laquelle figure un banc. À l'emplacement du quatrième mur est placé un petit bureau sur lequel est placé un objet. Derrière le bureau, un long couloir sombre dont on ne voit pas l'issue. Lorsque l'utilisateur commence l'activité,

il est placé assis sur une chaise (réelle), à un emplacement qui correspond en réalité virtuelle à celui du banc. Avant même d'utiliser son corps pour se déplacer, il s'agit donc d'utiliser sa tête pour découvrir l'environnement. Un panneau avec du texte expliquant le projet est placé en face de lui. Il explique également comment se servir de la manette pour sélectionner des éléments du menu et ainsi passer à l'étape suivante. L'utilisateur est ensuite invité à apprendre à utiliser le module PROUVÉ, en sélectionnant un objet spécifique de la scène ; lorsque cette étape est passée l'utilisateur est invité à se lever et à se déplacement librement dans la petite cour, à s'approcher du bureau, puis à se téléporter au fond du couloir. À ce moment, la scène du théâtre de marionnettes se charge et l'utilisateur y est transporté.

L'espace virtuel réduit et épuré invite l'utilisateur à se concentrer sur les objets et panneaux mis en évidence, et donc à apprendre de manière plus efficace à prendre en main le matériel et le logiciel. De manière générale, la plupart des utilisateurs ont néanmoins sollicité l'aide de l'opérateur (un des chercheurs du projets qui accompagne en tout temps l'utilisateur) pendant et après cette phase de sollicitation. C'est selon nous le signe que la réalité virtuelle nécessite un temps d'adaptation qui dépasse le temps d'une simple expérience.

3) Immersion de l'utilisateur

Lorsque l'utilisateur se téléporte dans le théâtre de marionnettes, il est donc censé avoir compris comment se déplacer à la fois physiquement et en se téléportant, mais également comment utiliser les outils de PROUVÉ. À ce moment l'enjeu pour l'opérateur est de laisser l'utilisateur le plus libre possible de ses mouvements afin de le laisser parcourir à sa guise l'espace et les informations disponibles. Cependant, maintenir le dialogue avec l'utilisateur permet également de solliciter la parole et donc d'obtenir des commentaires sur l'espace, son usage ou son contexte, qui sont parmi les informations que l'on souhaite récupérer lors de ce type d'immersion.

L'immersion dans l'espace a une durée moyenne de huit minutes et vingt-deux secondes (avec un écart type de deux minutes et cinquante secondes), mesurée sur un échantillon de dix-huit chercheurs[33]. Cette durée est encourageante s'agissant d'un espace virtuel restreint constitué d'une seule et unique pièce. En outre, cette durée est déterminante dans le choix d'un éventuel extrait de représentation théâtrale à l'intérieur de l'espace. Nous nous sommes donc basé sur cette durée pour le choix des extraits de *Polichinelle Censeur des Théâtres* dont nous avons évoqué la capture et le montage précédemment.

Lors de nos expérimentations à Washington, nous n'avons pas pu tester l'influence de l'affichage d'un spectacle dans le théâtre de marionnettes. Il est possible que cet affichage modifie en réalité le comportement des utilisateurs et le divise en deux phases : une première qui serait la contemplation du spectacle, puis une seconde qui consisterait en l'exploration du théâtre en réalité virtuelle. Si une telle séparation avait lieu, elle pourrait sensiblement augmenter le temps passé à l'intérieur de l'espace virtuel, tout en renforçant la curiosité de l'utilisateur pendant et après le spectacle sur scène.

4) Questionnaire

Après l'immersion en réalité virtuelle, les utilisateurs étaient invités à partager leurs ressentis grâce à un questionnaire (*Fig. 131*). L'objectif de ce questionnaire était de mesurer la performance de PROUVÉ en tant qu'outil pour l'utilisateur, et de l'ensemble de l'expérience en tant que moyen de diffusion de l'information scientifique.

33 L'échantillon concerne 18 chercheurs et praticiens du théâtre historique ou contemporain présents à ASTR 2019 à Washington.

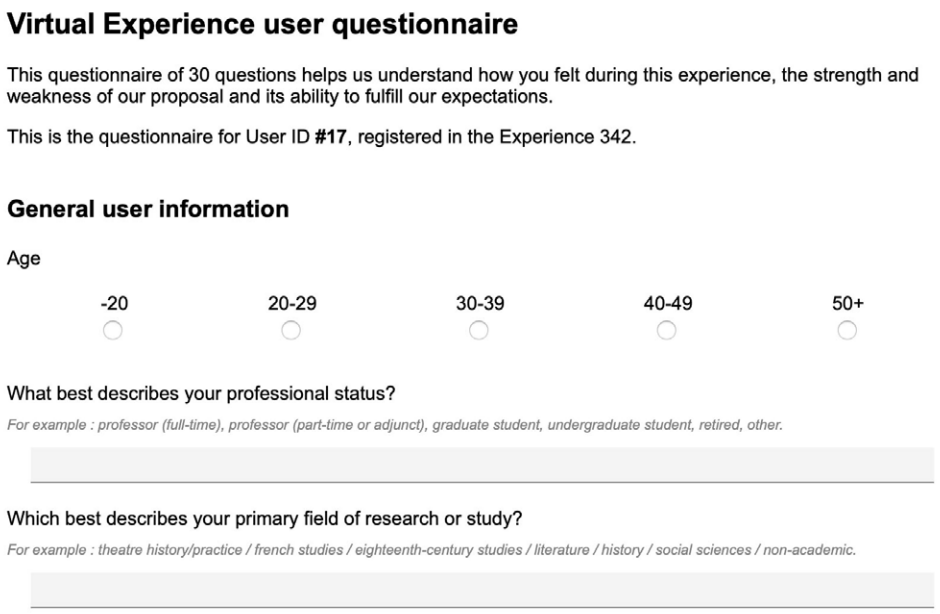


Fig. 131. Interface de remplissage du questionnaire en ligne sur le site du projet VESPACE.

Le questionnaire s'appuie donc sur deux parties distinctes : un questionnaire standard en dix questions appelé *System Usability Scale* permettant une évaluation rapide de la qualité de l'interface ; et un questionnaire conçu sur mesure pour évaluer l'expérience de manière générale. Le *System Usability Scale* est un ensemble de questions conçu dans les années 1980 par John Brooke[34] se voulant un moyen rapide d'évaluer une interface utilisateur[35] (avec un ordinateur ou une machine). Les dix questions qui le comportent sont alternativement formulées de manière négative et positive permettant d'éliminer les biais. Chaque question est notée de 0 à 4 mais le score final nécessite un calcul spécifique :

> Let me explain how we developed the scoring strategy. Each item's score contribution ranges from 0 to 4. For items 1, 3, 5, 7, and 9 (the positively worded items) the score contribution is the scale position minus 1. For items 2, 4, 6, 8, and 10 (the negatively worded items), the contribution is 5 minus the scale position. You then multiply the sum of the scores by 2.5 to obtain the overall value of SUS.
> Obviously, the use of both positive and negative items leads to one level of complexity; the responses to the questions indicate strength of agreement or disagreement, so strongly disagreeing with a negative statement is equivalent to strongly agreeing with a positive one[36].

L'intérêt de ce questionnaire est donc l'obtention d'un score, compris entre 0 et 100, dont l'interprétation bénéficie de nombreuses années d'expérience. Un score inférieur à 50 signifie que le produit n'est pas acceptable pour l'utilisateur, et à partir de 70 que le produit est utilisable. Évidemment, plus l'on se rapproche de 100, plus l'interface correspond aux attentes des utilisateurs. Nous avons fait passer ce test à des participants anglophones et avons donc utilisé la version américaine de ce ques-

34 Brooke 2013.
35 Lewis 2018.
36 Brooke 2013, p. 35, que l'on peut traduire par :

> Laissez-moi vous expliquer comment nous avons développé la stratégie de notation. La contribution de chaque élément à la notation va de 0 à 4. Pour les éléments 1, 3, 5, 7 et 9 (les éléments formulés de manière positive), la contribution au score est la position sur l'échelle moins 1. Pour les éléments 2, 4, 6, 8 et 10 (les éléments formulés en termes négatifs), la contribution est de 5 moins la position dans l'échelle. Vous multipliez ensuite la somme des scores par 2,5 pour obtenir la valeur globale de SUS.
>
> Il est évident que l'utilisation d'éléments positifs et négatifs conduit à un niveau de complexité ; les réponses aux questions indiquent la force de l'accord ou du désaccord, donc être en désaccord avec une affirmation négative équivaut à être fortement en accord avec une affirmation positive.

tionnaire, mais il existe des équivalents dans la plupart des langues courantes. Les dix questions sont les suivantes :

1. *I think that I could like to use this system frequently ;*
2. *I found the system unnecessarily complex ;*
3. *I thought the system was easy to use ;*
4. *I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system ;*
5. *I found the various functions in this system were well integrated ;*
6. *I thought there was too much inconsistency in this system ;*
7. *I would imagine that most people would learn to use this system very quickly ;*
8. *I found the system ver cumbersome to use ;*
9. *I felt very confident using the system ;*
10. *I needed to learn a lot of things before I could get going with this system.*

Nous avons ajouté à cela seize questions permettant de mieux cerner l'usage de PROUVÉ pour les sciences humaines. Elles étaient précédées de questions permettant de mieux cerner l'utilisateur, avec son âge par tranches, son statut professionnel, son domaine d'expertise et son expérience dans le domaine (étudiant, doctorant, jeune chercheur, chercheur confirmé, etc.). Les seize questions sont les suivantes :

1. *How would you rate your familiarity with virtual reality devices?*
2. *I was able to access information I was interested in during the experience ;*
3. *I learned about the reconstructed space ;*
4. *I learned about the historical context of the environment ;*
5. *I felt overwhelmed by information ;*
6. *Being able to visualize documents helped me to understand the environment I was in ;*
7. *Being able to visualize documents helped me to understand the reconstruction of the environment ;*
8. *I feel that I have the ability to discuss the hypothesis behind the reconstruction of the environment ;*
9. *I found that this digital reconstruction is a faithful representation of historical reality ;*
10. *Before using this system, how would you rate your feeling about VR simulations in academic research?*
11. *How would you rate the potential for using this system in its current form for academic research?*
12. *How would you rate the potential for using this system in its current form for popularization of academic research?*
13. *How would you rate the potential for using this system in its current form for undergraduate instruction?*
14. *How would you rate the potential for using a system based on the principles of this simulation for your field of research?*
15. *How would you rate the potential for using this system in its current form for undergraduate instruction in your field?*
16. *Would you use a system based on these principles in your field?*

Nous reviendrons sur l'interprétation de ces résultats dans la partie suivante. Les questionnaires étaient administrés par le moyen d'une tablette ou d'un ordinateur immédiatement après avoir utilisé le dispositif de réalité virtuelle.

5) Revue des données

Une fois le questionnaire administré, l'utilisateur a alors accès à l'ensemble des données enregistrées lors de sa session. L'intérêt est de pouvoir éventuellement conti-

nuer le travail d'exploration des sources dans un autre environnement, que ce soit immédiatement après l'immersion en réalité virtuelle, ou plus tard en revenant sur la page de consultation des données de l'expérience.

À l'issue de cette expérience complète, l'utilisateur a donc pu comprendre les tenants et aboutissants du projet, expérimenter la réalité virtuelle et nos outils, s'immerger dans une salle de spectacle de marionnettes du XVIII^e^ siècle et avoir accès aux données qu'il a produites. Mais comment l'utilisateur lui-même perçoit-il cette expérience ?

Retours d'expériences

Lors du passage des utilisateurs dans notre dispositif de réalité virtuelle, nous avons distribué un questionnaire. Le dépouillement des résultats donne une bonne idée du ressenti des utilisateurs par rapport au système PROUVÉ et à l'usage d'un dispositif de réalité virtuelle pour la recherche, la diffusion et la médiation scientifique. Dix-huit personnes ont répondu au questionnaire, soit un échantillon très réduit qui ne saurait être considéré comme représentatif de l'ensemble de la communauté des praticiens et chercheurs en théâtre présents au congrès ASTR de Novembre 2019 à Washington, et *a fortiori* de la communauté scientifique au sens large. La crise sanitaire a néanmoins rendu impossible tout autre expérimentation qui aurait pu compléter ce premier jeu de données. Les interprétations que nous faisons sont donc biaisées mais permettent néanmoins de soulever des pistes d'amélioration pour PROUVÉ.

Dépouillement du System Usability Scale

Nous n'avons pas souhaité détailler les réponses au questionnaire *System Usability Scale* dont seul le score final nous intéresse. Le score moyen obtenu au SUS est de 73,6/100 avec un écart type de 26,4. Le très grand écart type est représentatif d'une grande divergence dans les réponses des participants : le score le plus bas obtenu est de 42,5/100, tandis que le score le plus élevé obtenu est de 100/100. Sur les 18 participants, 13 ont néanmoins donné une note de 70/100 ou plus, qui correspond à la limite inférieure d'une interface utilisable.

Des améliorations sont donc nécessaires afin d'augmenter la perception du système par l'utilisateur. Ce score est de plus à mettre en relation avec la nécessité d'aider la plupart des utilisateurs lors de leur immersion en réalité virtuelle : dans son état actuel, l'outil développé ne permet pas une expérience totalement autonome, en tous cas pas sans qu'une partie non négligeable des utilisateurs ne soit laissée pour compte. Afin d'interpréter ces résultats, il convient également de rappeler que pour l'utilisateur le « système » qu'il est demandé de noter ne fait pas de distinction entre la partie matérielle (donc le casque HTC Vive que nous utilisons) et la partie logicielle, avec les composants que nous avons directement intégrés (le système Steam VR) et ceux que nous avons nous-même développés (PROUVÉ). Nous pensons que malgré notre commentaire en début de questionnaire, il est difficile de faire la distinction entre ces deux éléments :

> By system we mean the tool used to access historical data inside VR, regardless of the headset itself.

Considérant que nous ne pouvons pas réellement intervenir sur la partie matérielle, et que celle-ci a dû faire face, lors de sa phase de conception, à ce type de tests, nous insisterons sur la partie logicielle. Concernant Steam VR, le système de

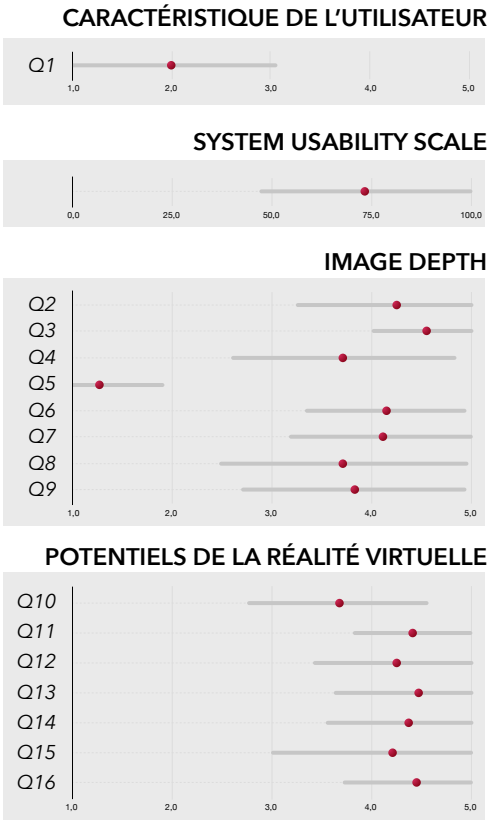


Fig. 132. Résultats moyens du questionnaire distribué aux utilisateurs lors du congrès ASTR de novembre 2019.

téléportation a été particulièrement difficile à maîtriser pour certains utilisateurs : il est vrai que son utilisation repose sur de nombreux concepts qui sont habituellement utilisés dans le monde du jeu vidéo mais peuvent se révéler abscons à des utilisateurs avec peu d'expérience dans ce domaine. Il n'est sans doute pas anodin que parmi les six utilisateurs ayant noté le système à 70/100 ou moins, cinq ont spécifié ne pas être familiers avec la réalité virtuelle (c'est-à-dire avec une réponse de 1/5 à la question 1, pour une réponse moyenne de 2/5, avec un écart type de 1).

Concernant PROUVÉ, de manière générale l'accompagnement des utilisateurs a montré une certaine facilité à comprendre le pointeur laser et la gâchette pour sélectionner un objet. En revanche, la navigation dans les menus et la précision de la sélection se sont souvent montrés difficiles. Pour de nombreux utilisateurs, nous avons en effet remarqué que maintenir le laser sur un objet tout en pressant la gâchette était parfois source de problèmes. De même, la navigation dans le pad était parfois mal comprise et de nombreux utilisateurs ne savaient pas comment le fermer facilement et pouvaient se retrouver avec le pad dans leur champ de vision. Rendre plus évidente l'arborescence au sein du pad et l'interface de celui-ci (notamment pour des actions aussi simples que la fermeture) est donc une nécessité pour de prochaines versions.

Dépouillement du reste du questionnaire

Le reste du questionnaire était construit autour de deux ensemble de questions : le premier permettant de juger de l'efficacité de PROUVÉ et de toute l'expérience utilisateur pour faire passer des informations ; le second permettant d'évaluer le potentiel perçu de ce système dans la recherche, la diffusion ou la médiation scientifique.

La plupart des utilisateurs ont réussi à trouver les informations qu'ils cherchaient dans l'environnement virtuel (avec une réponse moyenne à la question 2 de 4,3/5

et un écart type de 1), ce que corrobore également le nombre d'éléments de la base de données visualisés en réalité virtuelle : une moyenne de 12 pour un écart type de 6. Dans cet environnement, seul 8 objets sont sélectionnables, ce qui signifie que la plupart des utilisateurs sont allés voir les ressources liées à ces objets alias dans la base de données. Les utilisateurs sont unanimes sur la possibilité d'avoir appris des informations sur l'espace dans lequel ils étaient immergés (score à la question 3 de 4,6/5 avec un écart type de 0,5).

Alors que les utilisateurs ont pensé que la possibilité de visionner des documents et des sources grâce à PROUVÉ leur a permis de mieux comprendre leur environnement et comment il a été restitué (question 6 avec un score de 4,1/5 et un écart type de 0,8 ; question 7 avec un score de 4,1 et un écart type de 0,9), ils étaient néanmoins moins convaincus par leur capacité à discuter des hypothèses faites durant cette restitution (question 8 avec un score de 3,7 et un écart type de 1,2). Nous avions intégré à la fin de ce groupe de questions une question de vérification, demandant à l'utilisateur s'il pensait que l'environnement était une représentation fidèle de la réalité. Or, pour les chercheurs du projet, il ne peut s'agit au mieux que d'une représentation plausible, mais non fidèle à la réalité. La réponse à cette question, plutôt positive (question 9, score de 3,8/5 avec un écart type de 1,1) montre que la nuance n'est pas assez évoquée dans la documentation (ou qu'elle n'était pas assez explicite dans la question).

La suite du questionnaire s'intéresse à l'usage possible d'un système similaire dans la recherche académique. Alors que les utilisateurs jugeaient moyen le potentiel d'utilisation de telles simulations dans la recherche académique avant de tester notre restitution (question 11, score de 3,7/5, écart type de 0,9), il le jugeaient plutôt bon après leur expérience à destination de la recherche académique (question 12, score de 4,4/5, écart type de 0,6), de la diffusion et de la médiation (question 13, score de 4,3/5, écart type de 0,8) ou de l'enseignement (question 14, score de 4,5/5, écart type de 0,8). La plupart des utilisateurs étaient également prêts à utiliser un système équivalent dans leur domaine d'expertise (question 16, score de 4,4/5, écart type de 0,7).

Nous sommes plutôt encouragé par le retour positif des utilisateurs à cette deuxième partie du questionnaire. Le score moyen au SUS laissait en effet présager une mauvaise acceptation de la réalité virtuelle pour les utilisateurs, mais il n'en a rien été : nous avons même réussi à améliorer l'image de la réalité virtuelle dans la recherche pour les participants à cette expérience.

Pistes d'amélioration

Parmi les pistes d'amélioration, les modifications de l'interface utilisateurs ont déjà été évoquées. Elles pourraient également être accompagnées d'un didacticiel plus long pour mieux assimiler les contrôles de l'interface (que ce soit pour la téléportation ou pour l'utilisation de PROUVÉ). L'utilisation de tels didacticiels, qui augmentent sensiblement le temps d'immersion en réalité virtuelle, fait courir le risque de raccourcir d'autant l'immersion dans le théâtre de marionnettes lui-même. Combiné à notre souhait d'intégrer un spectacle de marionnettes dans le théâtre restitué, nous risquons de limiter d'autant le temps passer à explorer, les utilisateurs ayant une tolérance limitée dans le temps à la réalité virtuelle.

Le questionnaire met en évidence la force de conviction de la réalité virtuelle puisque l'environnement restitué a été jugé fidèle à la réalité. Il convient donc d'insister, à la fois dans la description des objets alias et dans le contenu supports de communications, sur la part très importante de l'hypothèse dans le travail de restitution effectué. Nous ne souhaitons pas interpréter cette réponse comme la validation du modèle tridimensionnel, mais bien comme la difficulté de notre système à mettre en

évidence de manière claire et sans équivoque les zones de flou et les interprétations divergentes possibles d'une même source.

Dans cette partie, nous avons répondu aux principaux freins à l'usage de la réalité virtuelle immersive pour la recherche, la diffusion et la médiation scientifique en créant un ensemble de scripts réunis sous le nom de PROUVÉ. Ils permettent de relier à l'expérience immersive l'ensemble des données utilisées pour concevoir l'environnement virtuel tout en permettant de consigner les données nativement numériques produites par les utilisateurs du dispositif. En combinant cet outil numérique avec une expérience adéquate depuis l'accueil de l'utilisateur jusqu'à la visualisation des données qu'il a lui-même produites, nous avons montré que la réalité virtuelle était alors perçue comme un bon moyen pour la recherche, la diffusion et la médiation scientifique.

L'expérience menée s'est cependant limitée à un espace réduit, le théâtre de marionnettes représenté par Blarenberghe. Nous allons à présent de nous intéresser à des espaces plus grands qui présentent des situations plus complexes, tant dans le déplacement de l'utilisateur, que dans la documentation disponible et ses multiples interprétations. En tirant les leçons de cette première expérience, nous pouvons donc nous atteler à un projet de plus grande ampleur pour lequel nous possédons des sources d'une tout autre nature.

Application et validation : le théâtre d'Audinot à la Foire Saint-Germain de 1772

Chapitre VII

Dans ce chapitre, nous souhaitons montrer le fonctionnement de la méthodologie et de l'outil mis en place sur une autre maquette numérique de plus grande ampleur. Le lieu choisi pour cette restitution tridimensionnelle est un projet, peut-être jamais réalisé, de théâtre pour les spectacles d'Audinot à la Foire Saint-Germain de 1772. Nous passerons à la modélisation du théâtre lui-même. Les plans conservés permettent une certaine précision dans ce processus : contrairement au document artistique qui servait de source principale à la modélisation du théâtre de marionnettes (la miniature de Louis-Nicolas van Blarenberghe), nous nous appuyons ici sur des documents architecturaux dont l'interprétation n'est pas sujette à caution. Enfin, nous nous intéresserons à la manière de permettre la diffusion et la médiation de ces recherches auprès d'un large public.

Un jeu d'archives complexe

Le jeu d'archives qui nous intéresse est composé de 176 planches disséminées dans l'inventaire des Archives Nationales[1]. Elles sont précieuses pour notre étude puisqu'une bonne partie d'entre elles décrit en détail des projets de salles de spectacles pour la Foire Saint-Germain à partir de 1769. Dans un premier temps, nous procéderons à une description générale de ce corpus et aborderons la question épineuse de l'attribution de cet ensemble, non signé, à un ou plusieurs architectes. Nous décrirons ensuite dans les grandes lignes les dix différents projets imaginés ou réalisés à partir de ces plans. Enfin, nous proposons d'étudier les éléments de filiation qui lient ces différents projets entre eux et permettent de mieux comprendre le projet que nous entendons choisir pour une modélisation complète.

Description générale du fonds

Le corpus qui nous intéresse est disséminé aux Archives Nationales sous plusieurs cotes qui correspondent *a priori* à plusieurs projets. Le Catalogue Général des Cartes, Plans et Dessins d'Architecture regroupe de nombreux documents graphiques classés par emplacement des lieux qu'ils décrivent, depuis le début du XVI^e^ siècle jusqu'à la fin du XIX^e^ siècle. La constitution de ce catalogue, publié en 1958, sans moyens informatiques, est un travail particulièrement impressionnant qui excuse certaines erreurs[2]. L'entrée « Foire Saint-Germain » de ce catalogue révèle plusieurs jeux de plans d'une même main, non identifiée, pour semble-t-il quatre projets différents sous les cotes N/III/SEINE/259, N/III/SEINE/260, N/III/SEINE/262 et N/III/SEINE/1030 et datés de la fin des années 1760 au début des années 1770. Des plans de facture similaire, et donc de la même main, se retrouvent également dans les cotes N/III/SEINE/1029 et N/III/SEINE/1030 à l'entrée « Ambigu Comique », ainsi qu'à la cote N/III/SEINE/1061 à l'entrée « Foire Saint-Ovide ». Bien que notre étude concerne exclusivement les théâtres de la Foire Saint-Germain, la nécessité d'identifier l'architecte de ces plans ainsi que de corriger d'éventuelles erreurs de classement nous pousse à considérer l'ensemble des plans. Le corpus ainsi constitué contient 176 planches décrivant divers projets de salles de spectacle à Paris entre 1769 et 1773.

Certains de ces plans ont déjà fait l'objet d'une brève publication dans un ouvrage de Giuseppe Radicchio et Michèle Sajous D'Oria[3] où ils sont reproduits sans faire l'objet d'une analyse architecturale, et Pauline Beaucé a analysé certains de ces plans lors du colloque *Identité et circulation des spectacles forains* de 2019[4]. Avant même de nous intéresser à un de ces projets particuliers, nous souhaitons mieux comprendre la spécificité du corpus, les liens que ce projet entretient avec l'ensemble du corpus ainsi que la perméabilité d'idées et de concepts entre plusieurs salles ayant des programmes différents.

Les documents qui nous intéressent sont tous réalisés sur du papier aux formats et bords irréguliers avec des techniques différentes : certains croquis sont réalisés à la mine, tandis que la majorité des plans sont réalisés à la plume. Des planches sont quant à elle ombrées au lavis, alors que les plans des salles sont subtilement colorés afin de faire apparaître par endroit la différence entre les éléments de structure (colorés en brun-rose) et les bancs (colorés en vert clair). Globalement, les plans sont d'un niveau de détail très inégal, puisque croquis d'organisation et de structure jouxtent

1 Nous devons à Françoise Rubellin l'identification de ces archives dans le catalogue des Archives Nationales, identification qui a permis l'ensemble de ce travail.
2 Archives Nationales 1958, Introduction à la numérisation du corpus N/III/Seine.
3 Radicchio et Sajous D'Oria 1990, p. 111-117.
4 Beaucé, 2019.

dans le corpus des lavis de détails de décor (pour les plafonds des salles de spectacle, notamment). Un point commun à l'ensemble de ces plans, à l'exception de ceux de la cote N/III/SEINE/1061, est la mention, portée probablement *a posteriori*[5] sur l'ensemble des plans, « N°n, année 17xx ». Sur certains plans apparaît la localisation précise du projet, ce qui permet de situer chacun des projets. Le corpus que nous avons constitué contient des plans avec les mentions suivantes :

Cote	Indication sur le plan	Emplacement	Nombre de plans
N/III/Seine/259	N°2 Année 1769	Foire Saint-Germain	10
N/III/Seine/260	N°4 Année 1770	Foire Saint-Germain et Boulevard du Temple	31
N/III/Seine/262	N°6 Année 1772	Préau de la Foire Saint-Germain	22
N/III/Seine/1029	N°8 Année 1779	Boulevard du Temple	24
N/III/Seine/1030	N°3 Année 1769	Boulevard du Temple	44
N/III/Seine/1030	N°7 Année 1772	Foire Saint-Germain	42
N/III/Seine/1061	Année 1773	Foire Saint-Ovide	3

Table 8. **Emplacement et constitution du corpus étudié aux Archives Nationales, avec les indications inscrites sur les plans.**

Attribution

Avant même de tenter de retrouver l'architecte auteur de ces plans, il convient dans un premier temps de démontrer qu'ils sont tous issus de la même main. Nous avons déjà montré qu'ils portent tous des indications similaires sur le numéro de projet et l'année de conception. Ces plans empruntent également le même vocabulaire graphique : les couleurs, des conventions de représentation (comme les bancs en coupe), la manière d'écrire les cotes, certains thèmes dans la décoration et leur représentation (les anges au plafond de la salle, par exemple) et même l'aspect des projets sont très semblables. Il suffit pour s'en convaincre de comparer la coupe longitudinale du projet pour la foire Saint-Ovide en 1773 avec celle du projet pour la Foire Saint-Germain en 1769 : malgré quatre ans d'écart, la filiation entre ces deux architectures et leur décoration est évidente. Dès lors, associer un seul de ces jeux de plan avec un architecte suffit à trouver l'architecte qui fut l'auteur de l'ensemble.

Des théâtres de la Foire Saint-Germain après l'incendie de 1762, on ne sait pas grand chose : si des indications sur les entrepreneurs et leurs troupes existent, les informations sur les salles elles-mêmes sont très rares. De même pour la Foire Saint-Ovide qui reste jusqu'à présent bien moins documentée que la Foire Saint-Germain. En revanche, la documentation est plus explicite sur les théâtres du Boulevard du Temple[6].

Sur le Boulevard du Temple, trois théâtres existaient vers 1770[7] : le Théâtre de Nicolet construit en 1759[8] (qui deviendra plus tard le Théâtre de la Gaîté), le Théâtre des Associés[9] construit en 1768 et le Théâtre d'Audinot construit en 1769[10] (qui deviendra le Théâtre de l'Ambigu-Comique). Par chance, plusieurs éléments nous permettent de savoir à quelle projet de théâtre ces plans étaient destinés. Le plan N/III/SEINE/1029/9 porte la mention, de la main de l'architecte, « Semblable à celui donné

5 Cette mention est en surimpression sur certains documents, coupant le dessin principal. Il paraît exclu que l'architecte ait volontairement, lors de la création de sa planche, écrit au travers du plan qu'il venait de réaliser. Il pourrait s'agir d'une notation *a posteriori* lors de la réalisation d'un classement ou d'un rangement personnel. La similarité de l'écriture avec celle décrivant les détails techniques du projet exclut qu'elle soit l'œuvre d'une autre personne.

6 Nous remercions chaleureusement Pauline Beaucé qui, la première, a eu l'intuition du rapprochement que nous faisons et a eu la gentillesse de nous en faire part. Elle nous a également guidé vers les références nécessaires pour prouver cette hypothèse.

7 RADICCHIO ET SAJOUS D'ORIA 1990, p. 69-70.

8 CAMPARDON 1877, « Nicolet (Jean-Baptiste) ».

9 *Ibid.*, « Associés (Le Spectacle des) ».

10 *Ibid.*, « Audinot (Nicolas-Médard) ».

Fig. 133. (à gauche) Extrait de la planche A. N. N/III/Seine/1030/30 montrant la façade projetée pour l'Ambigu-Comique.

Fig. 134. (à droite) « Vue du Théâtre de l'Ambigu-Comique, Boulevard du Temple » par L. Roger.

au Sieur Audinot » qui serait donc le commanditaire de ces plans : on serait donc face aux plans d'un projet de réaménagement de la salle d'Audinot en 1773. Dans la liasse N/III/SEINE/1030, le document 33 fait apparaître la façade du bâtiment tel quel projetée par l'architecte (*Fig. 133*). Or, on connaît la façade qu'avait le théâtre d'Audinot par une estampe aujourd'hui conservée au Musée Carnavalet nommée « Vue du Théâtre de l'Ambigu-Comique, Boulevard du Temple », datée de 1787[11], que l'on doit à L. Roger (*Fig. 134*). Les deux documents concordent sur de nombreux points : sur un soubassement percé de trois portes séparées par des fenêtres, l'étage noble montre une colonnade *in antis* de quatre colonnes abritant trois hautes portes-fenêtres. De chaque côté de cette colonnade, deux fenêtres donnent également sur la rue et sont encadrées par les mêmes moulures. Au sommet du bâtiment, une corniche vient donner à la façade un aspect néoclassique. Il existe quelques différences entre ces représentations, qui nous paraissent toutefois mineures et relever plus d'une évolution du projet que d'un changement d'architecte : les colonnes ont un chapiteau ionique sur l'estampe alors qu'il est corinthien sur les plans ; une balustrade vient clore la colonnade de l'étage sur l'estampe tandis qu'aucun garde-corps n'est visible sur l'élévation de l'architecte ; inversement une balustrade vient couronner le bâtiment sur l'élévation mais pas sur l'estampe ; enfin un appareil à fort bossage est visible sur l'estampe mais ne figure pas sur l'élévation. Les plans de la cote N/III/SEINE/1030 auraient donc bien servi à concevoir le projet du Théâtre d'Audinot, or on sait que ce théâtre a été dessiné par l'architecte Cellerier[12]. Nous proposons donc d'attribuer à Jacques Cellerier (1742-1814) ces 176 planches.

Cette attribution a le mérite d'expliquer la présence sur le plan N/III/SEINE/262/3 de la silhouette du Wauxhall de la Foire Saint-Germain, reconnaissable à son plan

11 La date de 1787 peut poser problème. En effet, on sait que le théâtre d'Audinot a été agrandi en 1786 pour devenir le théâtre de l'Ambigu-Comique. Dès lors, l'estampes montre-t-elle l'ancien ou le nouveau théâtre ? Si 1787 est bien la date de publication du recueil d'estampes « Vues pittoresques des principaux édifices de Paris » dont celle-ci fait partie, il est probable que les estampes aient été préparées les années précédentes. De plus, une autre représentation, une gouache conservée à la BnF (ark:12148/btv1b10302495n), datée de 1788 montre bien une façade légèrement différente où les arcades de l'étage ont été comblées avec des fenêtres. Il s'agirait donc bien d'une vue du bâtiment agrandi en 1786, confirmant que l'estampe décrit quant à elle le projet avant l'agrandissement.

12 BONNASSIES 1875, p. 80 : l'Ambigu-Comique « ouvre dans le théâtre que Célerier [*sic*], architecte du premier, venait de rebâtir en n'en conservant que le mur du fond et celui de face, modifié légèrement ».

elliptique et à son entrée circulaire débouchant sur la rue[13]. Le Wauxhall a été conçu par l'architecte Nicolas Lenoir (1733-1810) dont Jacques Cellerier a été l'un des disciples : il n'est donc pas impossible que le disciple ait été au courant des projets de son maître pour la Foire Saint-Germain alors qu'il réalisait lui-même l'étude pour un nouveau théâtre dans l'enceinte foraine.

Proposition de correction et nouvelle subdivision

L'organisation actuelle des plans dans les Archives Nationales repose principalement sur les mentions de numéro et d'année qui ont été inscrit sur les plans à une date inconnue (mais probablement du vivant de l'architecte). Cette subdivision pose néanmoins problème : l'organisation des Archives Nationales reposant sur un découpage territorial, toute erreur de classement concernant la localisation du projet rend leur découverte impossible. Or, en observant dans le détail l'ensemble des bâtiments représentés sur ces plans, il apparaît qu'un même numéro et une même année peuvent renvoyer à deux projets radicalement différents situés à deux extrémités de Paris. Au sein de la liasse N/III/SEINE/260, les plans portent l'indication « N°4 Année 1770 », pourtant une partie de ces plans (les folios 4 à 8) concernent un projet sur le Boulevard du Temple tandis que le reste concerne un projet dans l'enceinte de la Foire Saint-Germain. Il conviendrait donc de replacer, dans l'Inventaire, ces plans depuis « Paris/VIe Arrondissement/Quartier Odéon » (qui correspond à l'emplacement de la Foire Saint-Germain) vers « Paris/IIIe Arrondissement/Quartier Enfants-Rouges » (qui correspond au Boulevard du Temple). De même, au sein de la liasse N/III/SEINE/1030, le folio 42 comprend le plan d'un hôtel particulier qui n'a pas de rapport avec l'Ambigu-Comique ; le replacement de ce plan nécessiterait néanmoins d'en reconnaître le projet, ce qui en l'état est rendu difficile par l'absence totale d'indication écrite.

La subdivision actuelle mélange également des projets très différents ayant été imaginés dans un même quartier. Ainsi la liasse N/III/SEINE/262, regroupant les plans portant la mention « N°6 Année 1772 » contient-elle deux projets tout à fait différent pour la Foire Saint-Germain : l'un prenant place dans le préau de la Foire, et l'autre dans l'enceinte de la Foire elle-même. La chronologie imposée par la subdivision actuelle semble également parfois sujette à caution. Un plan, N/III/SEINE/260/22, portant la mention « N°4 Année 1770 » comprend également la note « Donné le 28 octobre 1769 », ce qui vient remettre en cause la datation apportée *a posteriori*. Pour clarifier cet ensemble d'archives, nous proposons donc de le subdiviser en 10 projets clairement identifiés par leur forme et leur emplacement plus que par leur chronologie :

Identifiant	Emplacement	Date proposée	Plans concernés	Quantité
FSG-M	Foire Saint-Germain	1769	N/III/Seine/259 fol. 1-1114	10
BT-PRO1	Boulevard du Temple	1769	N/III/Seine/1030 fol. 9-12, 16, 18, 23, 25-30, 34, 38, 40-41, 43 N/III/Seine/260 fol.8	19

13 Comparer pour cela le plan de Cellerier avec le plan connu du Wauxhall de la Foire Saint-Germain conservé à la BnF (ark:/12148/btv1b8409864j.r).

14 Pour la numérotation des folios, nous faisons référence au numéro de l'image numérisée par les Archives Nationales. Or, certains folios ont une seule face numérisée, d'autres deux, selon qu'ils présentent des dessins sur une ou deux faces. Notre numérotation dépasse donc dans la plupart des cas celle des Archives Nationales : seule la consultation de ce fonds à accès réservé nous permettrait de lever cette ambiguïté.

Identifiant	Emplacement	Date proposée	Plans concernés	Quantité
BT-PRO2	Boulevard du Temple	1769	N/III/Seine/1030 fol. 2-8, 13-22, 24, 31-33, 35-37, 39, 44-45 N/III/ Seine/1030FSG15 fol. 42	26
FSG-APS	Foire Saint-Germain, cour la plus à l'ouest	1769-1770	N/III/Seine/260 fol. 1-2, 9-31 N/III/Seine/1030FSG fol. 43	25
FSG-APD	Foire Saint-Germain, cour la plus à l'ouest	1770-1772	N/III/Seine/1030FSG fol. 32–41, 44-73	41
BT-MOD1	Boulevard du Temple	<1772	N/III/Seine/1029 fol. 5, 8, 11, 14-15, 18	6
FSG-GUI	Foire Saint-Germain, près du cul-de-sac Guisard	1772	N/III/Seine/262 fol. 4-8, 12, 15-16	8
FSG-PRE	Foire Saint-Germain, préau	1772	N/III/Seine/262 fol. 9-11, 13-14, 17-22	11
BT-MOD2	Boulevard du Temple	1773	N/III/Seine/1029 fol. 1-4, 6-7, 9-10, 13, 16-17, 19-24 N/III/Seine/260 fol. 4-8	22
FSO	Foire Saint-Ovide	1773	N/III/Seine/1061 fol. 1-4	4

Table 9. Proposition de nouvelle subdivision du corpus en dix projets.

Détails des projets du fonds

L'ensemble des archives considérées contient donc dix projets différents qui prennent place sur six sites différents. Quatre de ces sites sont dans la Foire Saint-Germain ou autour de celle-ci, le cinquième est le théâtre d'Audinot sur le Boulevard du Temple et le sixième est à la Foire Saint-Ovide. L'analyse architecturale complète de l'ensemble de ces projets dépasse le cadre de cette thèse aussi nous bornerons-nous à les décrire succinctement et à indiquer éventuellement les informations sur le contexte spécifique dans lequel ils s'insèrent.

FSG-M, « Foire Saint-Germain - Marionnettes »

Cet ensemble est décrit dans la chemise qui renferme les plans, d'époque, comme « différents plans et profils de salle exécuté [*sic*] à la Foire Saint-Germain au mois de janvier et février 1769 ». Cette information vient d'emblée poser la question de la réalisation effective de ces plans, le mot « exécuté » pouvant être compris comme « construit » pour parler du bâtiment ou comme « réalisé » pour parler des plans. Néanmoins, la précision des mois de janvier et février 1769, qui correspondent donc à la préparation de la Foire Saint-Germain nous incite à croire que ces plans ont bien fait l'objet d'une réalisation concrète. Nous n'avons pas identifié la localisation précise de ce projet dans la Foire Saint-Germain ou autour de celle-ci.

15 En raison de la différence de numérotation des folios, *cf. note précédente*, nous avons dû pour la compréhension renommer le groupe N/III/Seine/1030 placé dans les archives à « Foire Saint-Germain » en « N/III/Seine/1030FSG ».

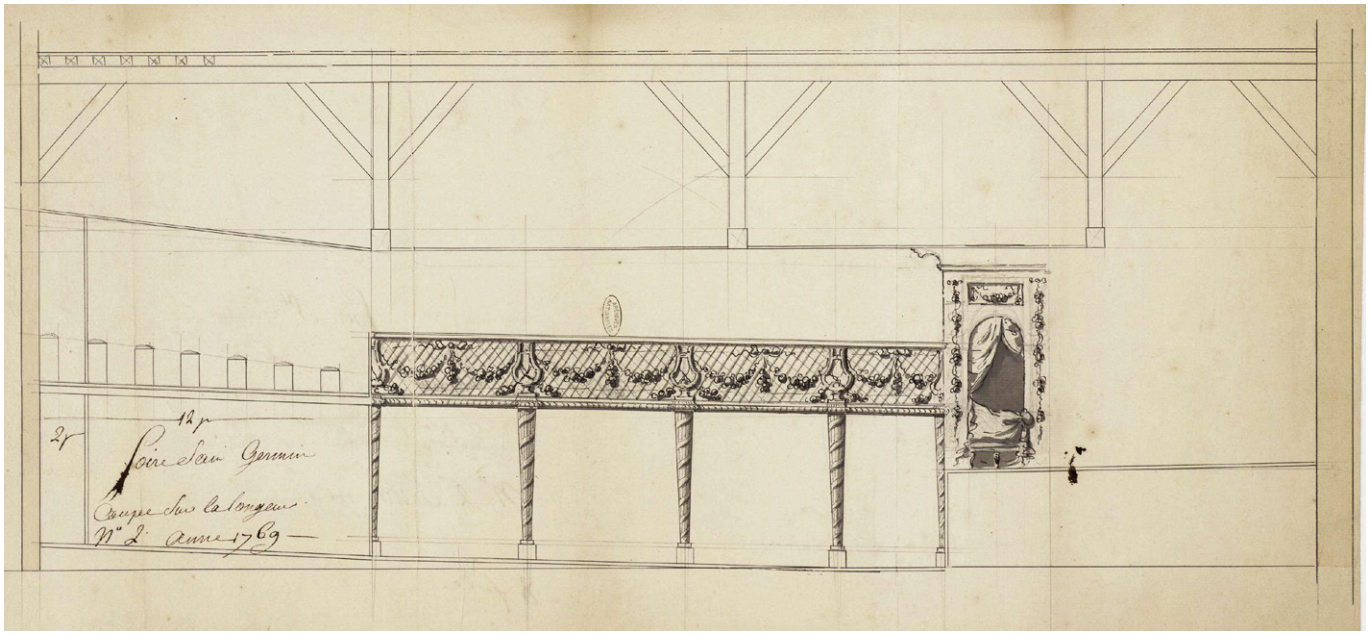


Fig. 135. **Planche A.N. N/III/Seine/259/1, montrant la coupe longitudinale du projet.**

Les plans de ce projet décrivent une salle oblongue de 7,5 m de large sur 17,5 m de long, pour une hauteur sous plafond d'environ 4,2 m. Elle est installée dans un bâtiment indépendant présentant un toit à deux pans qui s'ouvre sur l'extérieur par deux portes située aux deux extrémités du long mur bordant le flanc droit du théâtre (en regardant vers la scène). La salle est divisée en deux dans le sens de la longueur : la scène occupe une profondeur de 5 m tandis que l'espace occupé par le public occupe le reste amputé de soixante centimètres permettant le passage d'un escalier. En effet, un étage permet de répartir le public sur deux niveaux. Au rez-de-chaussée, un parquet (où les spectateurs étaient donc assis) occupe la majeure partie de l'espace mais un parterre (où les spectateurs étaient soit debout, soit assis sur des chaises dont la disposition n'était pas du ressort de l'architecte) occupe un tiers de la salle. L'étage prend la forme d'un « U » rectangulaire, à l'image des premières salles de spectacles dans les jeux de paume (au XVII^{e} siècle, notamment), dont les deux branches se terminent en arrondis. Cette disposition ménage au-dessus du parterre un grand amphithéâtre permettant aux spectateurs de s'asseoir en hauteur face à la scène. De chaque côté, dans les branches du U, les spectateurs sont assis perpendiculairement à l'axe de la salle.

Le décor de la salle se veut de style rocaille : les motifs de la balustrade de l'étage évoquent des treilles entrecoupées de lyres qui viennent supporter des rubans de fleurs (*Fig. 135*). Les colonnes qui soutiennent cet étage ont elles-mêmes la forme de gerbes nouées. On retrouve ce décor sur le cadre de scène constitué de deux pans à 45° percés d'une niche (les plans hésitent entre des niches semi-cylindriques ou rectangulaires) qui viennent réduire l'ouverture de scène à 3,8 m.

La largeur réduite de l'ouverture du cadre de scène interroge sur le type de spectacle que l'on pouvait jouer avec une scène si réduite. Les plans montrent sur la scène un jeu de trois à quatre plans de latéraux et un lointain. Le plan N/III/SEINE/259/5 montre que certains espaces entre ces plans sont hachurés et N/III/SEINE/259/10 (*Fig. 136*) vient en expliquer la raison : on lit clairement sur ce plan le mot « Pont », qui correspond pour un marionnettiste à un lieu de manipulation des marionnettes en hauteur derrière la scène ou au-dessus de celle-ci. Nous serions donc face à un théâtre de marionnettes doté de deux ponts au-dessus de la scène et d'un pont derrière le lointain. Ensemble, ils permettent de manipuler les marionnettes sur trois zones d'environ cinquante centimètres de profondeur sur le devant, au milieu et

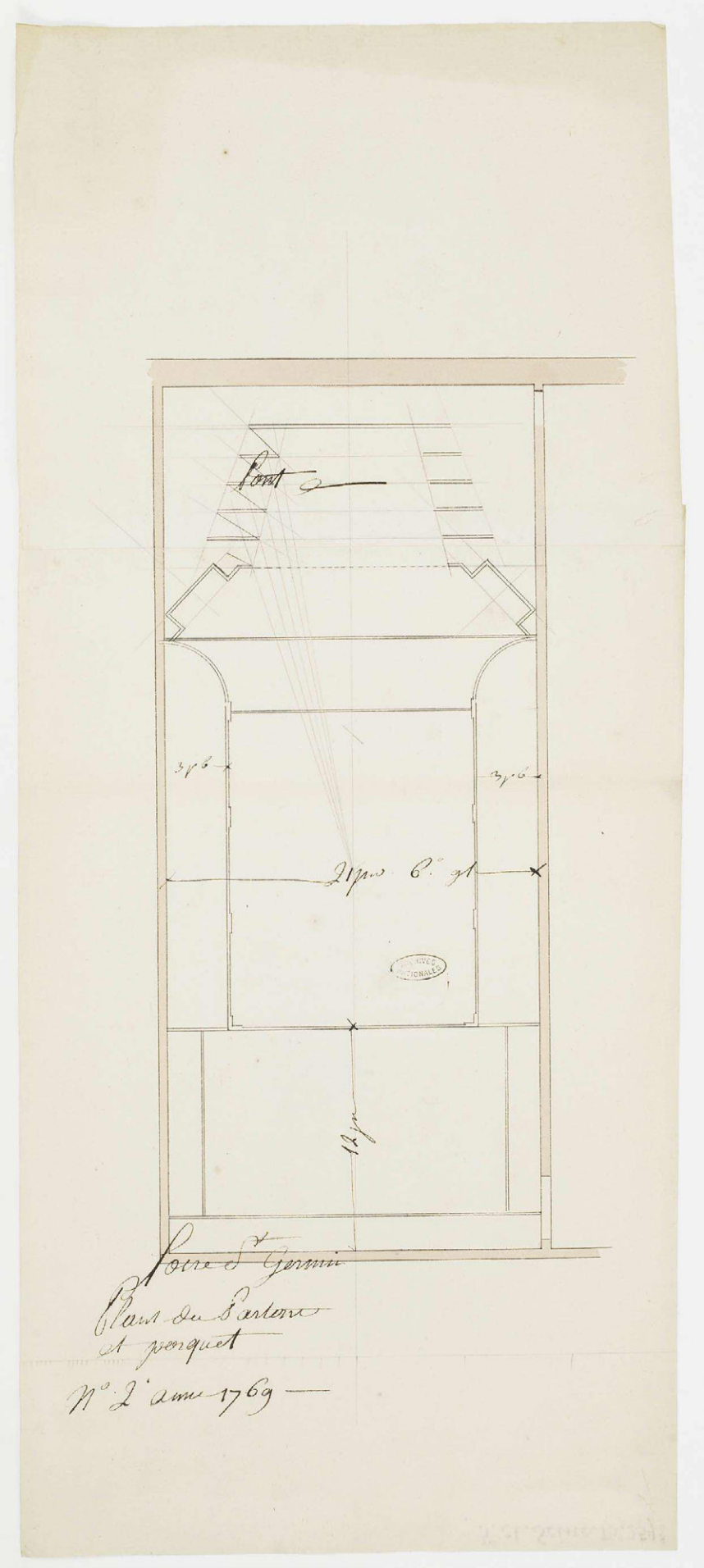


Fig. 136. **Planche A.N. N/III/Seine/259/10, montrant l'emplacement du « Pont » dans le castelet.**

au fond de la scène. Ce dernier plan révèle également les lignes de construction des latéraux, permettant d'éviter les découvertes depuis le centre de la salle.

Puisque Cellerier travaillait au même moment sur les plans du théâtre d'Audinot sur le Boulevard du Temple et sur les plans de ce théâtre pour marionnettes, il est tentant d'y voir les plans du théâtre ouvert par Audinot à la Foire Saint-Germain de 1769[16]. Audinot ouvrit en effet un spectacle dans une loge de la Foire cette année pour y jouer le spectacle « Les Comédiens de Bois » qui eurent un grand succès puisque si l'on en croit Campardon :

> « […] il débuta par des parodies de ses anciens camarades de la Comédie-Italienne, qui attirèrent beaucoup de monde dans sa loge trop petite pourtant pour l'empressement du public et dont les 400 places à 24 sols étaient constamment occupées[17]. »

La salle dont nous voyons les plans pouvait elle accueillir quatre cent spectateurs ? Les plans montrent que l'architecte prévoyait environ 132 mètres linéaires de bancs (en excluant les bancs pour l'orchestre) et 20 mètres carrés de parterre où les spectateurs restaient debout. En utilisant les normes actuelles de densité de spectateur[18], on obtient 264 spectateurs assis et soixante spectateurs debout, soit un total de 324 spectateurs. Les normes en cette deuxième moitié du XVIII^e siècle étaient pourtant bien différentes ! Jeffrey Ravel rapporte que le 19 février 1690 se tenaient debout 773 spectateurs dans le parterre de la Comédie-Française[19]. À cette époque, la Comédie-Française avait un théâtre rue des Fossés Saint-Germain dont on a conservé les plans[20]. Ceux-ci montrent un parterre d'environ 96 mètres carrés, ce qui donne une densité pour cette soirée exceptionnelle d'un peu plus de huit spectateurs au mètre carré. Avec une telle densité, la salle décrite par ces plans pouvait accueillir 424 spectateurs. De ce point de vue, il est tout à fait possible que la salle corresponde bien à celle dans laquelle Audinot fit ses débuts en tant qu'entrepreneur de spectacle.

BT-PRO1, « Boulevard du Temple - Projet 1»

Au sein de cet ensemble figurent 19 plans que nous attribuons à une première version du projet de théâtre d'Audinot sur le Boulevard du Temple. Ces plans sont datés de l'année 1769 par la mention « N°3 Année 1769 » et nous n'avons pas de raison de douter de la véracité de cette datation puisque le plan N/III/SEINE/1030/38 porte également l'inscription « Certifié conforme à l'original - 1769 ». C'est en outre bien en 1769 qu'Audinot fit ses débuts sur le Théâtre des Boulevards, dont on connaît l'emplacement exact puisqu'il prenait place au 74-76 Boulevard du Temple[21] et qu'il jouxtait le théâtre de Nicolet, à l'extrémité ouest du Boulevard du Temple. Les plans qui composent cet ensemble vont du croquis préparatoire au plan de construction montrant la structure.

Le projet tel qu'il se présente dans ces plans est composé de deux corps parfaitement identifiables : le premier est le corps d'entrée, le second est le théâtre proprement dit. Le corps d'entrée, de 15 m de large et 9 m de profondeur environ, est traversé de part en part par un couloir permettant d'accéder directement à la salle de spectacle (*Fig. 138*). Au rez-de-chaussée, deux pièces se placent de part et d'autre de ce couloir tandis qu'au deuxième étage se tient un foyer qui surplombe la rue sur laquelle il ouvre par 5 grandes fenêtres. Séparé de ce corps donnant sur la rue par

16 Faul 2013, p. 36.
17 Campardon 1877, « Audinot (Nicolas-Médard)».
18 Le calcul de la densité de spectateurs pour les Équipements Recevant du Public (ERP) dans la législation française contemporaine donne en effet 2 spectateurs par mètre de banc, et 3 spectateurs debout par mètre carré.
19 Ravel 2002, p.98.
20 Les plans et coupes de cette salle de la Comédie-Française ont fait l'objet d'une publication au XVIII^e siècle dans L'*Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* de Diderot et d'Alembert.
21 Faul 2013, p. 39.

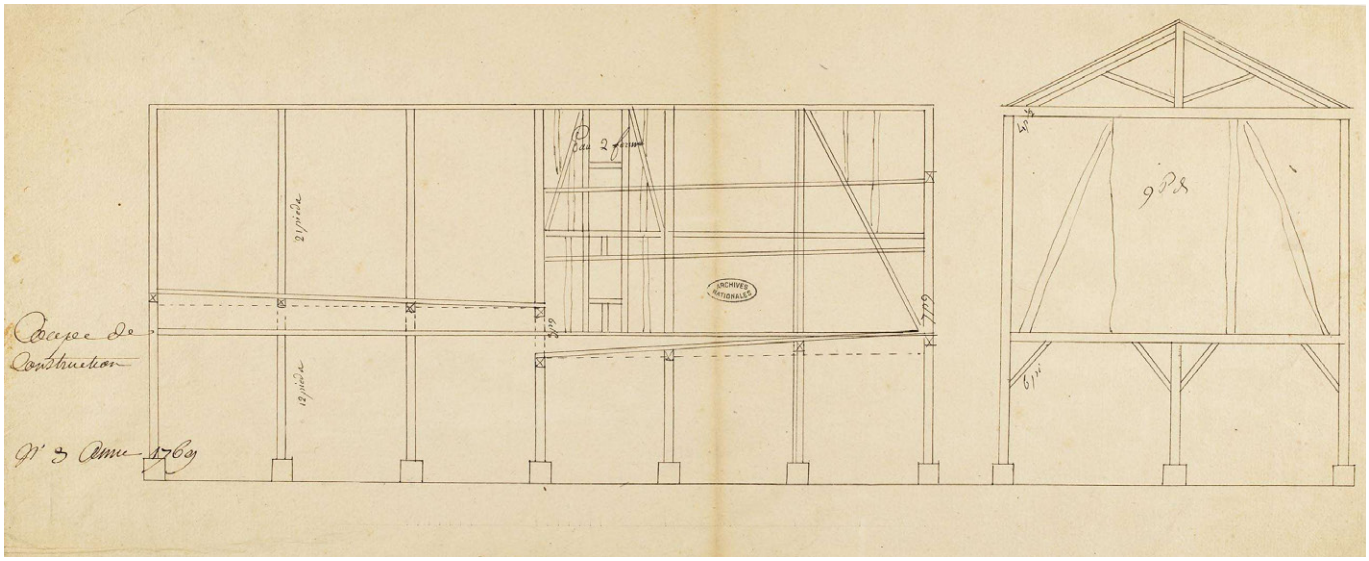


Fig. 137. Planche A.N. N/III/Seine/1030/10, montrant le système constructif envisagé pour BT-PRO1.

une largeur plus faible - sans que la raison soit évidente - le corps du théâtre est édifié sur pilotis avec une largeur d'un peu moins de 11 m et une profondeur de 23,5 m. Les deux coupes de construction du plan N/III/SEINE/1030/43 (*Fig. 137*) montrent en effet clairement le système constructif envisagé (une ossature bois sur pilotis). Quels étaient les impératifs du projet qui rendaient ce dispositif nécessaire ? Nous ne pouvons malheureusement pas le lire sur ces quelques plans mais pouvons formuler quelques conjectures.

La différence de largeur entre le corps d'entrée et la salle elle-même ainsi que la différence de traitement sur les plans font penser à deux programmes distincts : un premier monumental donnant sur la rue avec un foyer situé très en hauteur, et un deuxième beaucoup plus modeste[22]. La hauteur du foyer aurait pu imposer, pour qu'il puisse communiquer aisément avec la salle de spectacle, de devoir remonter l'ensemble de la structure de la salle… ce qui n'est pas sans poser quelques problèmes puisqu'avec une telle configuration la porte principale de la façade, à partir de laquelle part le couloir traversant tout le corps d'entrée, débouche non pas au niveau du parterre, mais sous la salle. Ce parti architectural, qui fait arriver le visiteur dans une sorte de vide sanitaire[23], apparaît rapidement abandonné et la salle ne semble plus surélevée sur le plan de rez-de-chaussée N/III/SEINE/1030/34 (*Fig. 138*). S'agissait-il d'une nécessité dictée par l'existence d'un ancien bâtiment à cet emplacement ? C'est en tous cas ce que suggère Michel Faul pour qui Audinot s'installe à l'emplacement d'un ancien théâtre[24]. Le corps d'entrée serait donc resté le seul vestige de cet ancien théâtre et donc un invariable du projet.

La séparation de l'ensemble en deux unités distinctes permet à l'architecte de traiter la salle de théâtre de manière complètement séparée et les différents plans de « construction » (N/III/SEINE/1030/23 par exemple) ne montrent pas le détail du corps d'entrée. Le théâtre est composé de la salle elle-même, occupant une profondeur de 13,6 m séparée de la scène d'une profondeur de 8,45 m par un cadre épais (1,2 m) ménageant une ouverture de 5,2 m. Dans la partie réservée aux spectateurs, trois niveaux viennent découper verticalement l'espace. Un premier niveau comprend un parquet assis qui s'étend jusqu'au pied d'un grand proscenium (profondeur de 3,3 m en avant du cadre de scène) et un parterre debout au fond de la

22 On peut voir dans le type de construction employé pour le bâtiment du théâtre lui-même une certaine filiation avec l'architecture des théâtres et loges forains. L'architecte avait-il imaginé un dispositif éphémère se modifiant au gré des saisons théâtrales derrière une façade fixe ?

23 N/III/Seine/1030/3.

24 FAUL 2013, p.39 indique que l'emplacement du théâtre d'Audinot était précédemment occupé par un autre théâtre, précédemment tenu par Nicolet qui déménagea juste à côté.

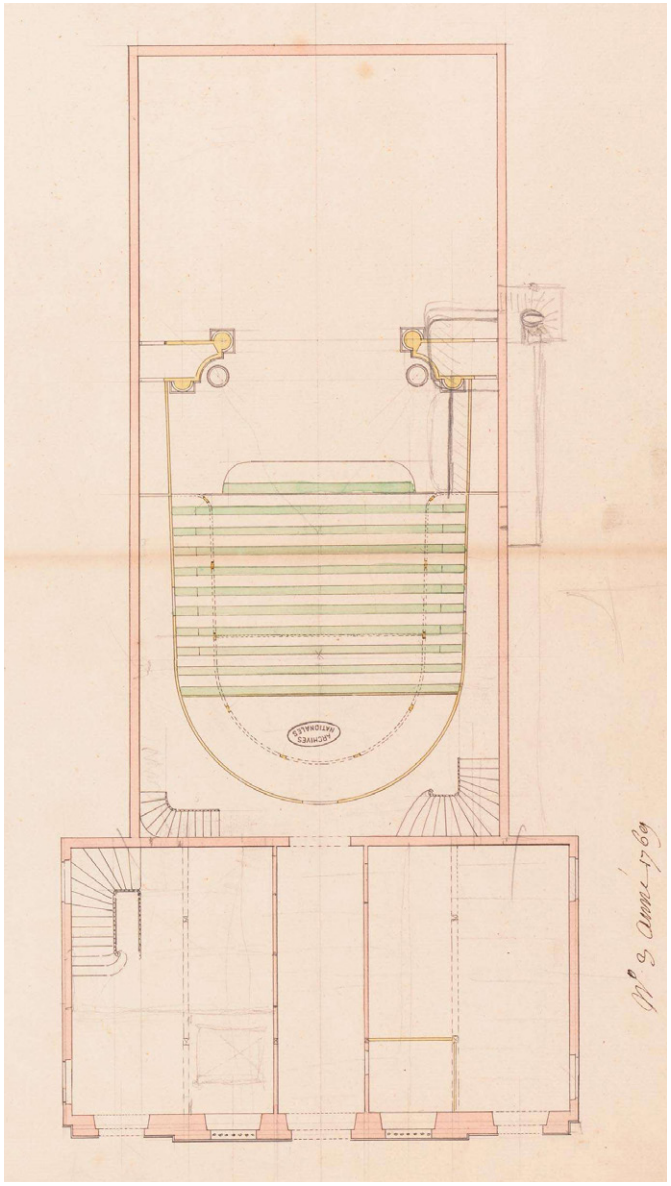


Fig. 138. Planche A.N. N/III/Seine/1030/34, montrant le plan du rez-de-chaussée de BT-PRO1.

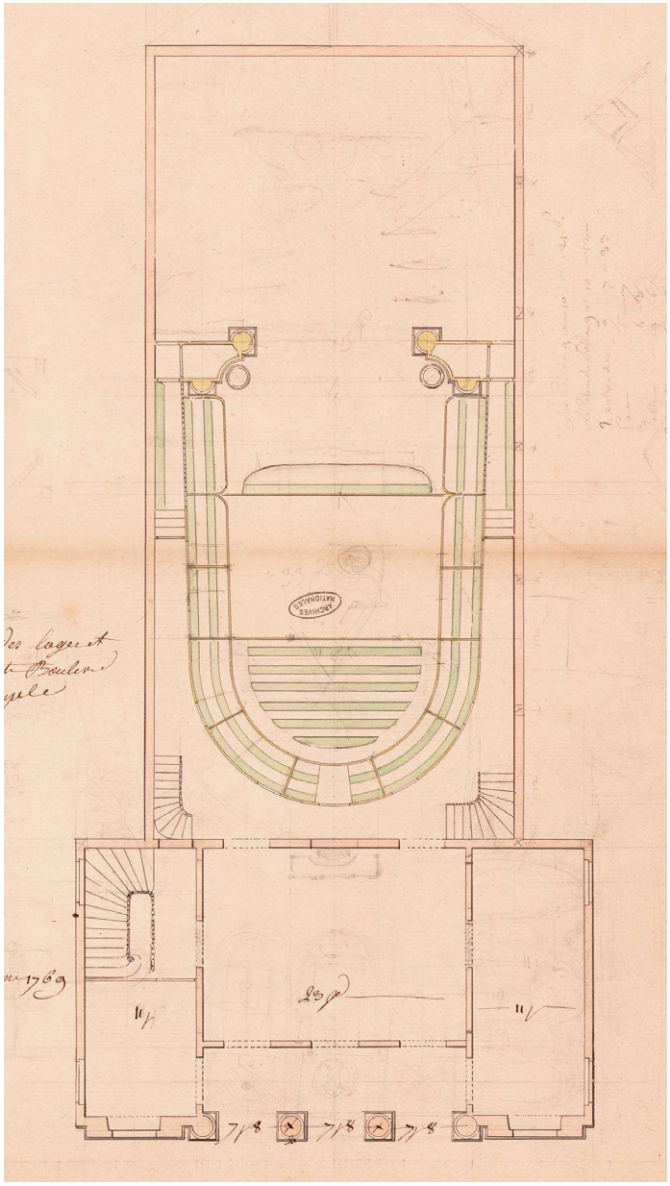


Fig. 139. Planche A.N. N/III/Seine/1030/27, montrant le plan des loges et de l'amphithéâtre de BT-PRO1.

salle (*Fig. 138*). Les premières loges forment un U venant encadrer un amphithéâtre construit au-dessus du parterre du rez-de-chaussée… elles donnent accès à des places situées sur le proscenium (*Fig. 139*). Enfin, les deuxièmes loges ménagent un grand amphithéâtre en forme de U au-dessus des premières. Les dispositifs d'éclairage de la rampe, ainsi qu'un espace ménagé pour l'orchestre sont visibles sur le plan N/III/SEINE/1030/11, tandis que les latéraux permettant un changement de décor à vue sont visibles sur N/III/SEINE/1030/9. Il est étonnant de constater la similarité du plan de la salle avec celle de la Comédie-Française rue des Fossés Saint-Germain, dont l'architecture de la fin du XVII[e] siècle n'était pourtant plus en accord avec les modes de cette deuxième moitié du XVIII[e] siècle. S'agissait-il pour Audinot de s'inspirer d'un exemple prestigieux afin d'apporter du crédit à un nouveau théâtre, ou bien était-ce les premiers essais de Cellerier, qui n'avait alors pas plus de 27 ans, dans ce type d'architecture ?

BT-PRO2, « Boulevard du Temple - Projet 2 »

Cet ensemble, daté de la même année que BT-APS, reprend les grandes lignes du projet précédent : la forme et la composition de la salle, de l'entrée et du cadre de scène sont conservées. La différence majeure est l'alignement de la largeur du corps

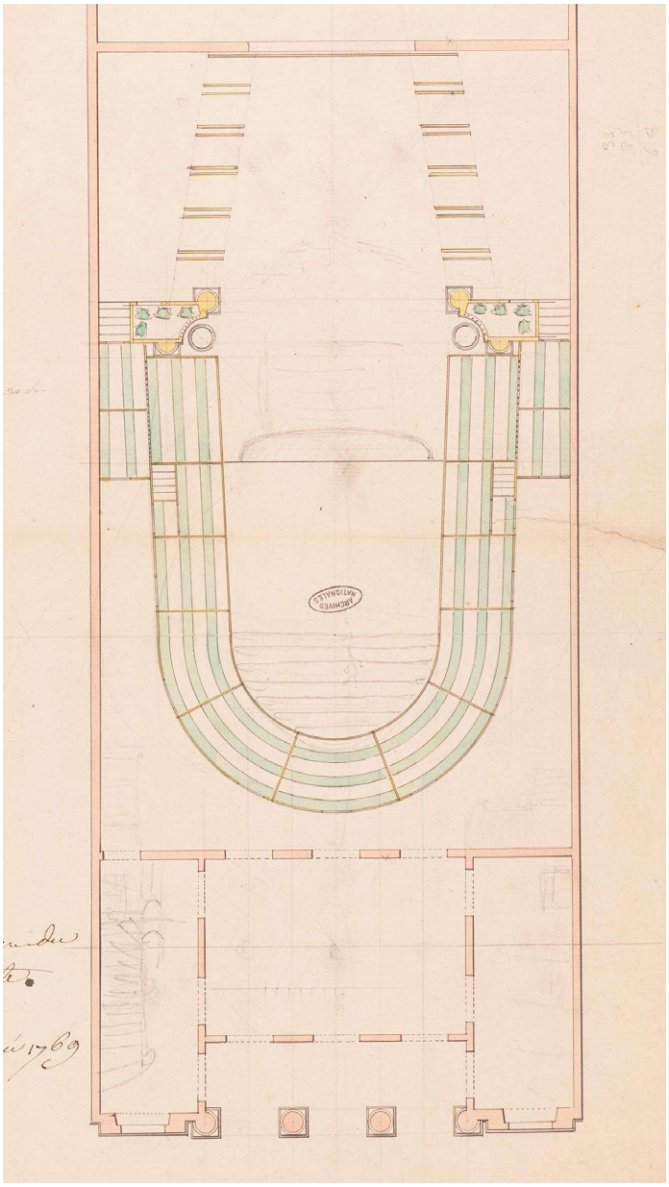


Fig. 140. Planche A.N. N/III/Seine/1030/15, montrant le plan des loges et de l'amphithéâtre de BT-PRO2.

du théâtre sur la largeur du corps d'entrée : le bâtiment ne fait plus qu'une seule masse cohérente (*Fig. 140*). Cette modification dans le plan a profité à la salle qui s'est élargie, tandis que la façade est passée de 46 pieds 8 pouces à 42 pieds seulement. C'est bien la modification de la largeur de la salle qui est discriminante entre BT-PRO1 et BT-PRO2 : elle passe de 33 pieds (10,7 m) à 42 pieds (13,6 m). Nous avons également laissé dans l'ensemble BT-PRO les détails de décoration (rideau de scène, cadre de scène) ou les coupes pour lesquelles fautes de repères nous n'avons pu choisir entre l'un ou l'autre des projets.

Le corps d'entrée conserve la même architecture que le projet précédent, ses dimensions ont simplement été légèrement diminuées (13,6 m de large pour une profondeur de 8,4 m), d'environ 10%. L'alignement des deux corps du bâtiment ne nécessite plus le retournement de la façade sur les petits côtés du pavillon d'entrée, qui semble au passage perdre ses fenêtres latérales.

La salle, quant à elle, a désormais une profondeur de 14 m et est séparée par de la scène d'une profondeur de 6,9 m par un cadre dont l'ouverture est de 6,3 m. La modification du projet a donc eu un impact important sur la largeur de la salle plutôt que sur sa profondeur (la différence pouvant être attribuée à des facteurs d'échelle entre les différents plans). Le proscenium a toujours une profondeur de 3,3 m.

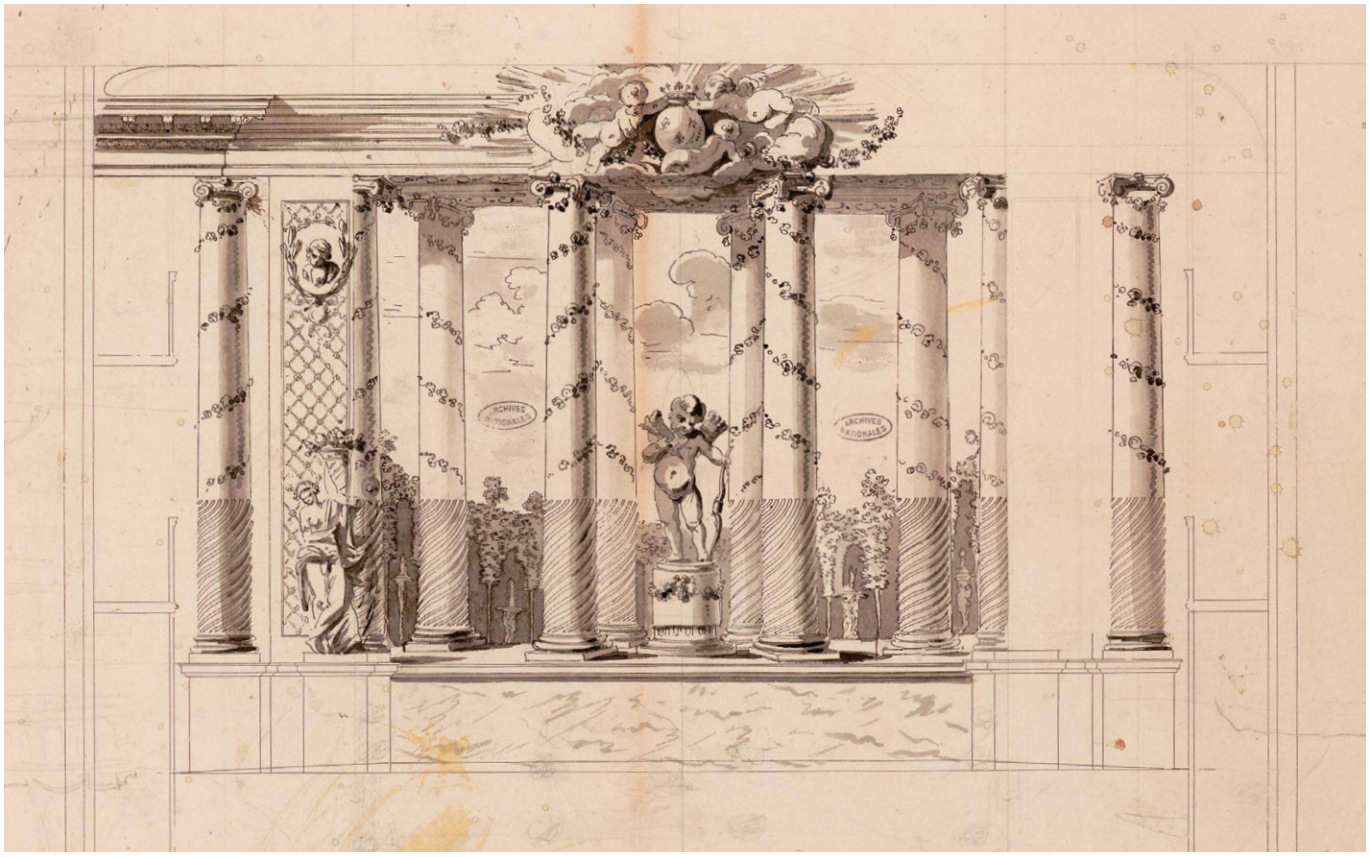


Fig. 141. Planche A.N. N/III/Seine/1030/13, montrant le cadre de scène et la peinture du rideau de scène pour les projets BT-PRO1 et BT-PRO2

La décoration du cadre de scène, commune aux deux projets, reprend le style rocaille (*Fig. 141*). Des colonnes à chapiteaux ioniques et à fût cannelé torsadé sont parcourues de guirlandes de fleurs. À gauche comme à droite de la scène, elles encadrent une sorte de loge grillagée par une treille que cache une statue portant une corne d'abondance. Le rideau de scène, peint, propose un décor montrant les mêmes colonnes supportant une structure dans un jardin.

Lequel de ces deux projets a été réalisé et servit à l'inauguration le 9 juillet 1769[25] ? Si nous aurions naturellement pensé que le projet BT-PRO2, par l'harmonie des volumes et la salle plus large qu'il propose, avait servi de base à la construction du théâtre d'Audinot sur les Boulevards, la réalité semble contredire cette intuition. D'une part, l'ensemble BT-PRO1 comprend des plans de détails de construction, ce qui tend plutôt à montrer que ce projet est parvenu jusqu'à un stade plus avancé. D'autre part, les projets de modification de cette salle dans les années 1773 semblent montrer que l'enjeu était l'élargissement de la salle par l'ajout de galeries latérales : l'empreinte du théâtre original y est donc toujours lisible. Or, cette empreinte a une largeur de 33 pieds, celle du théâtre de l'ensemble BT-PRO1.

FSG-APS, « Foire Saint-Germain, Avant-projet sommaire »

Les 24 plans qui composent cet ensemble sont l'avant-projet d'une salle de spectacle située à l'intérieur de l'enceinte de la Foire Saint-Germain (à l'emplacement des anciennes halles alors détruites), précisément sur la cour la plus à l'ouest de la Foire. Le projet donne en effet sur la rue Chaudronnière au sud, la rue de Picardie au nord et la cinquième traverse à l'ouest. La chemise qui contient ces plans porte le titre

25 FAUL 2013, p. 39. Notons que *L'Almanach forain ou les Différents spectacles des boulevards et des foires de Paris*, de Jean-François Arnould, dans son numéro de 1773 et à l'article « Ambigu-Comique », parle lui d'une date d'inauguration du 3 juillet 1769.

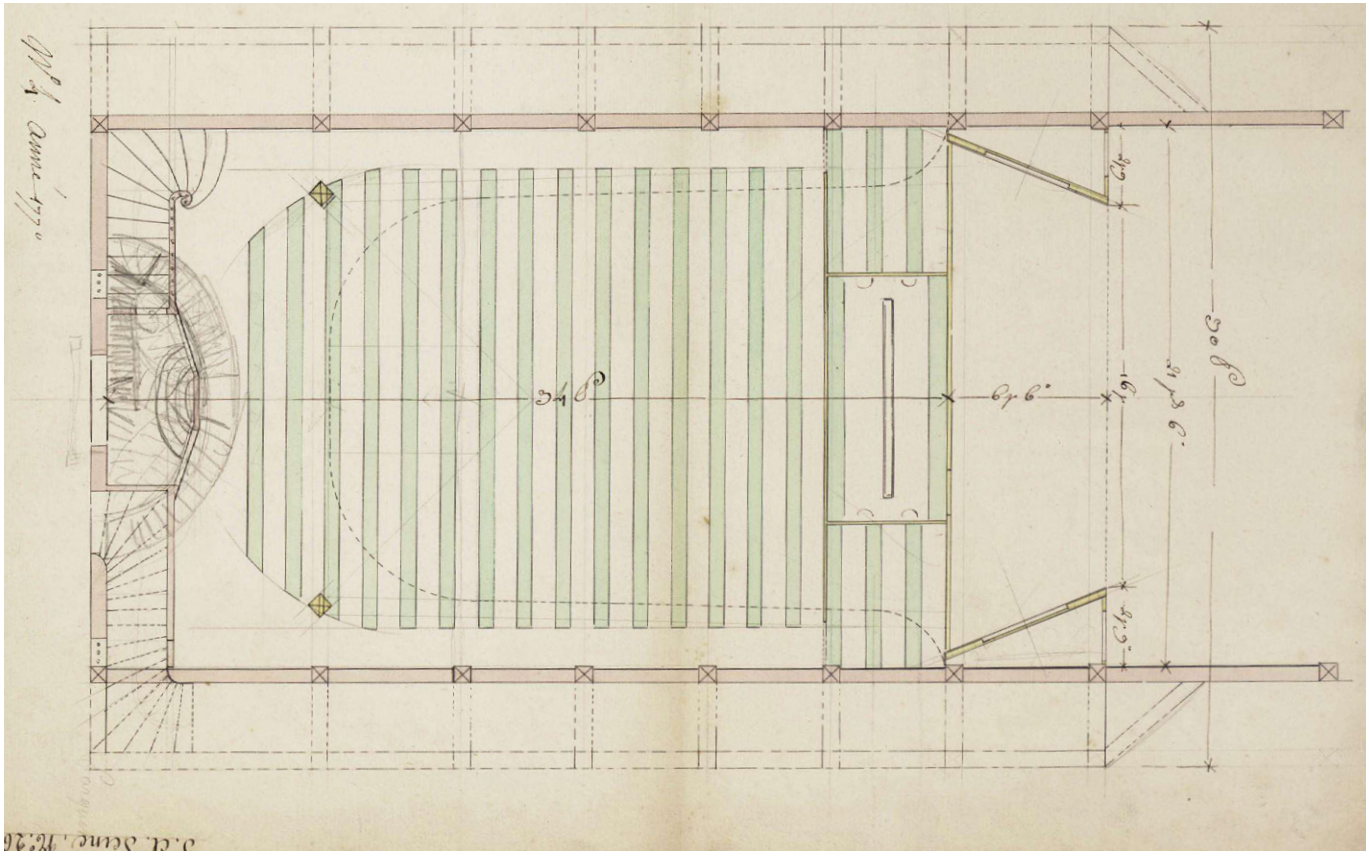


Fig. 142. Planche A.N. N/III/Seine/260/13, montrant au rez-de-chaussée le parquet (et l'absence de parterre debout) du projet FSG-APS. On distingue en pointillés l'encorbellement de l'étage.

« Plans et profils donnés [à la] salle de spectacle exécuté [*sic*] à la Foire Saint-Germain »[26]. Malgré l'indication « N°4 Année 1770 » certains de ces plans sont datés avec certitude de l'automne 1769 : une écriture autre que celle de l'architecte a en effet noté « Donné le 28 octobre 1769 » sur N/III/SEINE/260/22 et « Le 12 décembre 1769 » sur N/III/SEINE/260/27. À cette date, le plan du projet qui nous est parvenu semble encore trop brouillon pour permettre une éventuelle construction pour la Foire Saint-Germain de 1770 qui avait lieu moins de deux mois plus tard, d'autant que l'architecte a noté sur cette même page « Faire signer des marchés pour constater [*illisible* fin] et perfection des ouvrages de chaque entrepreneur » : un travail d'analyse de la situation existante qui devait prendre un certain temps.

Fin 1769 donc, le bâtiment s'inscrit dans un quadrilatère de 18,9 m de longueur pour 9,3 m de large, sans toutefois occuper tout le volume ainsi défini. En effet, au rez-de-chaussée, l'emprise au sol n'est que de 7 m de large, une limitation due aux loges de la Foire Saint-Germain. Un des fondamentaux du projet est donc de s'avancer en encorbellement au-dessus de l'espace public à partir du premier étage (*Fig. 142*). Cet élargissement n'a toutefois lieu qu'au niveau de la salle, et non de la scène. La salle profite ainsi d'une largeur de 9,3 m à partir du premier niveau de loge, tandis que la largeur de la scène est limitée à 7 m. La profondeur de la salle est quant à elle de 13 m pour une profondeur de scène de 5,8 m. Un proscenium de 2,1 m (porté à 3,7 m sur la coupe N/III/SEINE/260/25) s'avance vers la salle, il coïncide avec le cadre de scène dont l'extrême épaisseur permet d'y aménager des loges.

Dans la salle elle-même, au-dessus d'un parterre entièrement assis (et donc dénommé « parquet ») se superposent deux étages de loges au profil identique. Le profil de ces loges évolue au sein du projet : depuis un U aux branches parallèles aux murs de la salle sur le plan du 12 décembre 1769, on passe à un U ouvert dont les extré-

26 Nous pouvons nous interroger à nouveau sur le sens donné au mot « exécuté ». Il semble exclu au regard de l'avancement du projet que ces plans aient bien fait l'objet de réalisations.

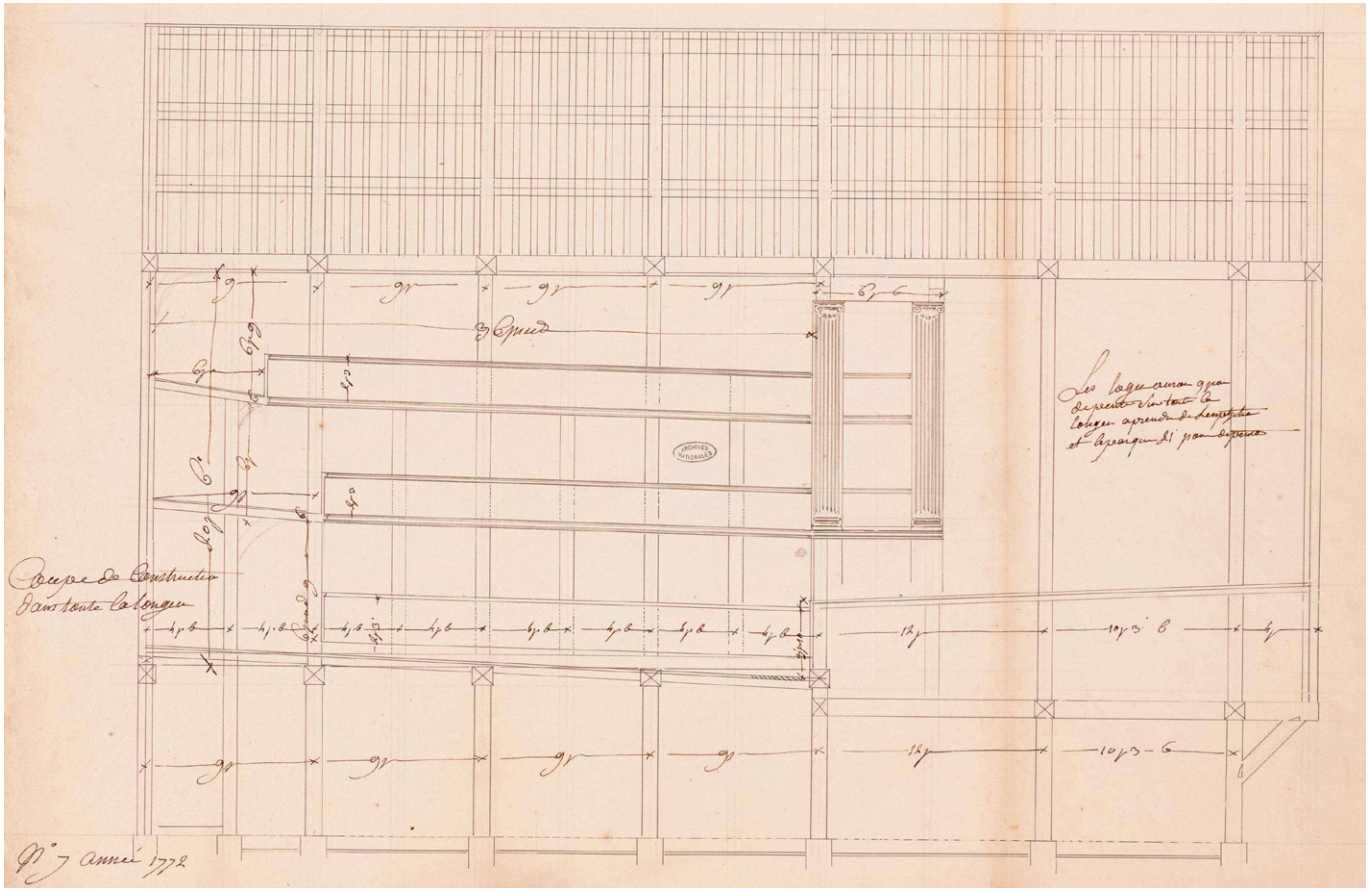


Fig. 143. **Planche A.N. N/III/Seine/1030FSG/40, montrant la coupe longitudinale du projet FSG-APD, où l'on voit que la salle est disposée au-dessus du rez-de-chaussée.**

mités des branches sont arrondies. Il s'agit en réalité de deux amphithéâtres courbés : aucune séparation ne vient réaliser de loges proprement dites.

Depuis la rue, l'accès se fait à la salle se fait par une simple marche qui donne accès à un vestibule duquel on peut accéder au parterre ou à un escalier menant au premier étage. Un second accès mène directement depuis l'extérieur aux deuxièmes loges, introduisant une circulation bien différenciée entre les spectateurs des différents niveaux.

FSG-APD, « Foire Saint-Germain, Avant-projet définitif »

Cet ensemble reprend du projet précédent la coupe, la décoration et la forme de la salle ainsi que l'implantation du projet dans la Foire Saint-Germain mais vient apporter plusieurs modifications majeures. L'ensemble prend place dans la chemise intitulée « Plans et profils de la salle de la Foire Saint-Germain exécuté [*sic*] en 1772 »[27] et cette datation interroge sur le devenir du projet entre 1770 et 1772. L'ensemble de ces plans traduit un net avancement du projet par rapport à FSG-APS : la plupart des problèmes structurels semblent résolus, si l'on en croit l'ensemble des plans montrant les charpentes et structures du rez-de-chaussée aux combles, le plan des fondations, mais également la prise en compte du contexte réel de la Foire Saint-Germain : un bâtiment existant vient semble-t-il mordre le projet dans son angle sud-est.

Par rapport à 1770, la modification majeure du projet est la surélévation de l'ensemble de la salle de sorte que le parterre n'est plus au rez-de-chaussée mais à l'étage

27 Encore une fois, nous relevons l'emplois du terme « exécuter » sans pouvoir en expliquer le sens. Cet ensemble est beaucoup plus avancé que le précédent et ce projet aurait pu faire l'objet d'une réalisation. Si le projet de salle dans la Foire Saint-Germain avait été exécuté, l'architecte pouvait effectivement a posteriori désigner cette salle comme « salle exécutée », et ce même pour les avant-projets comme FSG-APS.

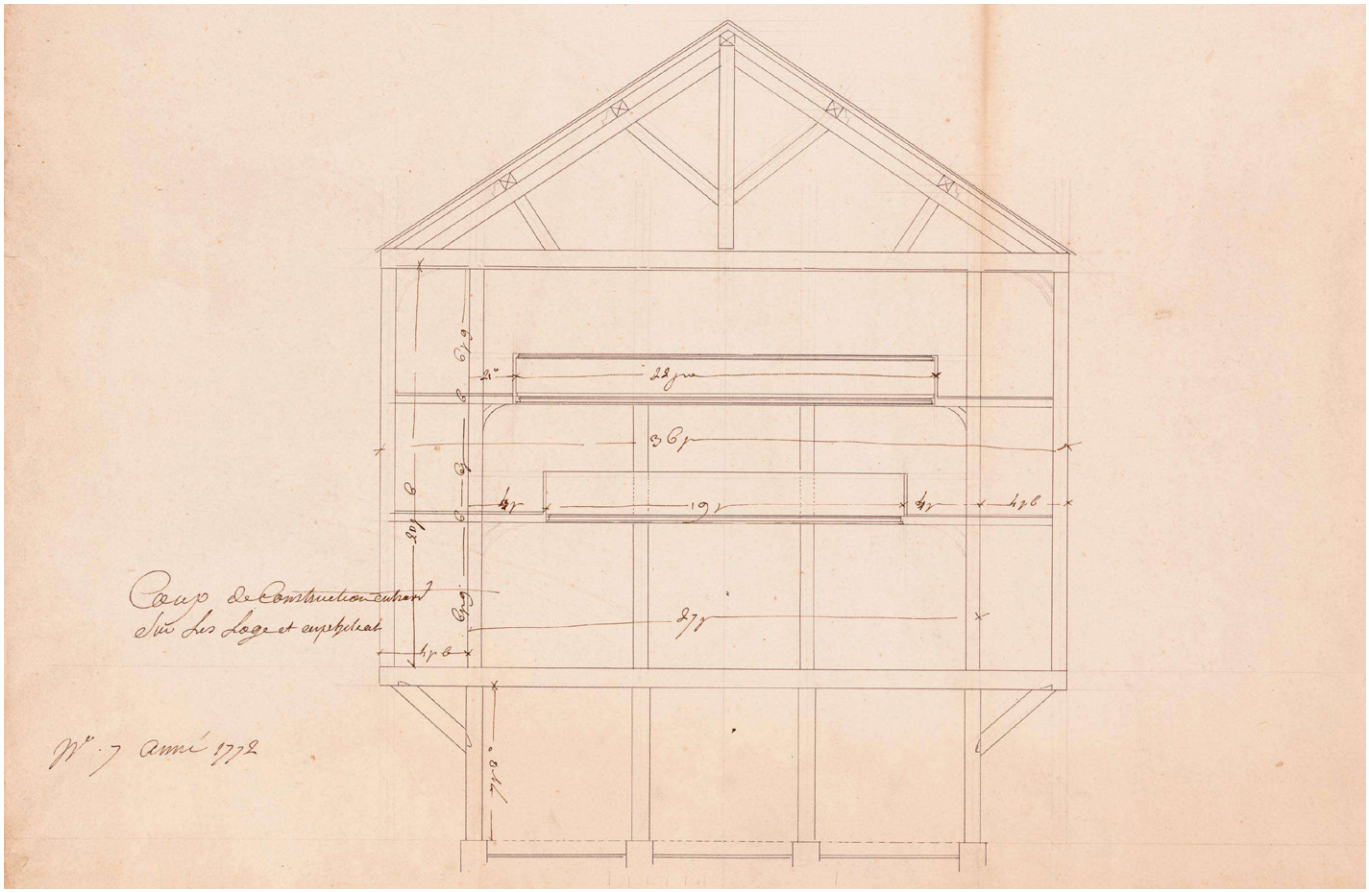


Fig. 144. **Planche A.N. N/III/Seine/1030FSG/39, montrant la coupe transversale du projet FSG-APD et la disposition en encorbellement au-dessus des espaces publics à gauche et à droite.**

(*Fig. 143*). Contrairement au projet BT-APS, cela n'implique pas un espace dénué de toute construction au niveau du sol : l'architecte propose ici l'installation d'un café au centre de la surface ainsi dégagée, mais également de plusieurs boutiques qui reprennent les dimensions classiques des loges foraines (un plan carré d'environ 3m de côté). La conception conjointe d'un théâtre avec un programme de café et de boutiques n'est pas nouvelle et on la retrouve dans d'autres projets du XVIII[e] siècle. Cette surélévation de la salle permet également de créer un niveau intermédiaire, sous la scène et au-dessus des boutiques dont le plafond est ici surbaissé (il passe de 2,9 m à 2,1 m), qui permet l'installation les loges des artistes (N/III/SEINE/1030FSG/48). De manière surprenante, c'est la première fois dans les plans que nous observons que les loges des artistes font l'objet d'un dessin de la part de l'architecte.

L'organisation de la salle reste identique dans les grandes lignes mais les proportions du bâtiment à l'étage se sont agrandies (*Fig. 144*) et il s'inscrit dans un quadrilatère de 11,7 m de large sur 20,2 m de long où à la fois la salle et la scène occupent toute la largeur disponible (11,3 m entre les murs). La scène a alors une profondeur de 6,3 m et la salle une profondeur de 13,6 m. Les deux sont séparées par un cadre de scène de 6 m d'ouverture et dont l'épaisseur de 2,2 m vient ménager un proscenium de même profondeur.

La salle à l'étage ne vient pas modifier le principe de circulation différenciée, où les spectateurs des deuxièmes loges entrent par une entrée séparée depuis la rue. La prise en compte d'un bâtiment gênant dans l'angle sud-est a en revanche modifié légèrement l'organisation : c'est un escalier hélicoïdal dans une cage réduite qui permet dorénavant l'accès aux deuxièmes loges. L'entrée du théâtre est plus développée puisqu'en prenant la forme d'un demi-cercle donnant sur la rue de la Chaudronnerie, elle permet simultanément l'accès au café sous la salle et à l'étage par deux escaliers latéraux étroits (environ 65 cm). Sous chacun de ces escaliers, le guichet

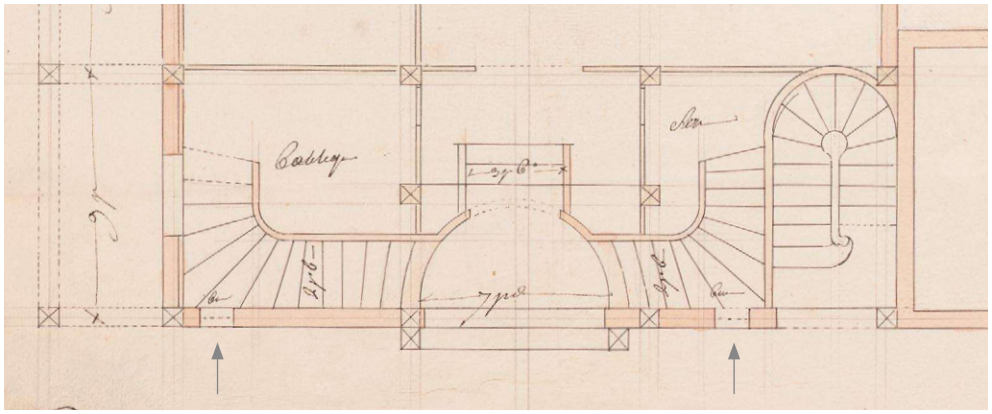


Fig. 145. **Détail de la planche A.N. N/III/Seine/1030FSG/50 montrant l'emplacement des guichets sous l'escalier.**

permettant la vente des places était installé et est figuré par une fenêtre à barreaux (*Fig. 145*).

L'avancement du projet est suffisant pour que la décoration qui n'était qu'esquissée dans la version précédente soit ici beaucoup plus développée. Le cadre de scène garde ses pilastres ioniques, mais les balustrades des loges abandonnent leur décor fleuri pour un décor architectural néo-classique pour les deuxièmes loges (où l'on aperçoit une frise de portraits). La balustrade des premières loges est recouverte d'une frise de chérubins tenant un rideau, donc l'architecte a fourni un très joli détail (N/III/SEINE/1030FSG/73). Tant le rideau de scène que le plafond sont détaillés : deux versions de celui-ci existe, mais le thème est constant, montrant des angelots au milieu de nuages. La version figurée sur le plan N/III/SEINE/1030FSG/34 semble même montrer l'emplacement des lustres.

BT-MOD1, « Boulevard du Temple, Modification 1 »

Les six plans qui figurent dans cet ensemble font partie de la liasse N/III/SEINE/1029 et ont reçu l'inscription « N°8 Année 1773 ». Nous ne sommes pas convaincu de cette datation pour plusieurs raisons.

Premièrement, la forme caractéristique de la salle de ce projet, elliptique, apparaît pour la première fois dans un croquis pour le théâtre d'Audinot daté de 1769 (N/III/SEINE/1030/10).

Deuxièmement, cette forme caractéristique apparaît mieux développée (et donc *a priori* plus tardive) dans un projet pour la Foire Saint-Germain daté lui de 1772 (N/III/SEINE/262/5). Nous sommes donc tenté de voir dans cette datation de 1773 un abus lors de l'inscription du numéro et de l'année sur toute la liasse de plans lors d'un premier archivage et proposons d'y voir un projet imaginé avant 1772. Il est intéressant de constater que, que ce soit en 1773 ou 1772, le théâtre d'Audinot appelait déjà à des modifications structurelles majeures dans l'organisation de la salle, moins de cinq ans après sa construction. On peut y voir le signe de la transformation de l'établissement d'Audinot sur les boulevards vers un théâtre plus pérenne.

La modification du projet de 1769 est très importante : si l'architecte semble garder les parois latérales de la salle, dont la largeur reste donc à 10,4 m, il y ajoute des couloirs latéraux à l'extérieur qui permettent de desservir l'ensemble des loges. On accède à ces couloirs par des escaliers en arc de cercle très imposants qui viennent mordre sur l'ancien bâtiment d'entrée (N/III/SEINE/1029/11) et qui ne ménagent pas une circulation différenciée entre les différents spectateurs.

À l'intérieur de la salle, les modifications sont tout aussi radicales puisque le plan prend la forme de deux demi-cercles joints par une partie rectiligne, donc pas tout à fait elliptique (*Fig. 146*). Le cadre de scène prend une forme courbée, soutenu par deux colonnes ioniques. Du fond de la salle à ces colonnes latérales, il y a 14,9 m et

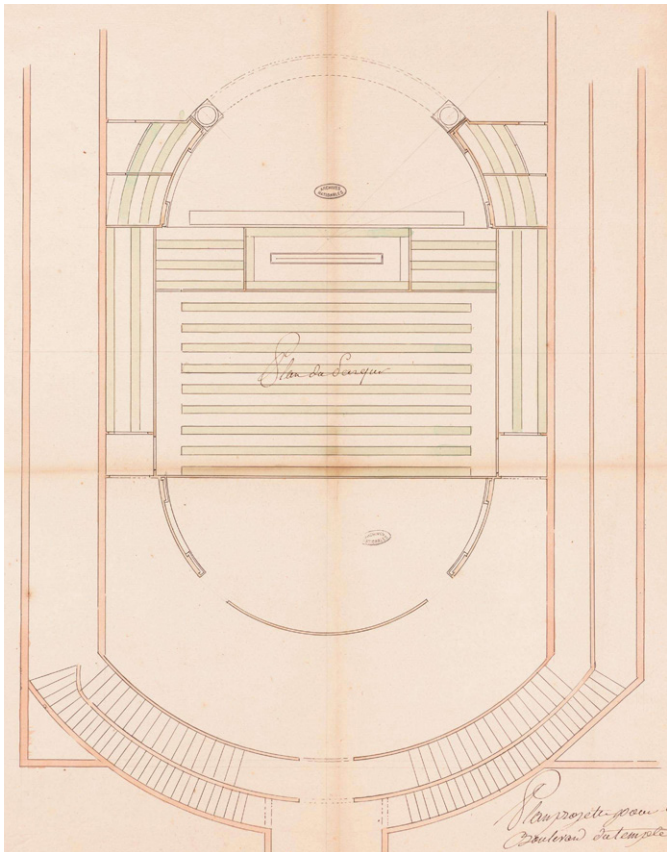


Fig. 146. Planche A.N. N/III/Seine/1029/8, montrant le plan du parquet pour le projet BT-MOD1, avec son architecture en deux hémicylces caractéristique.

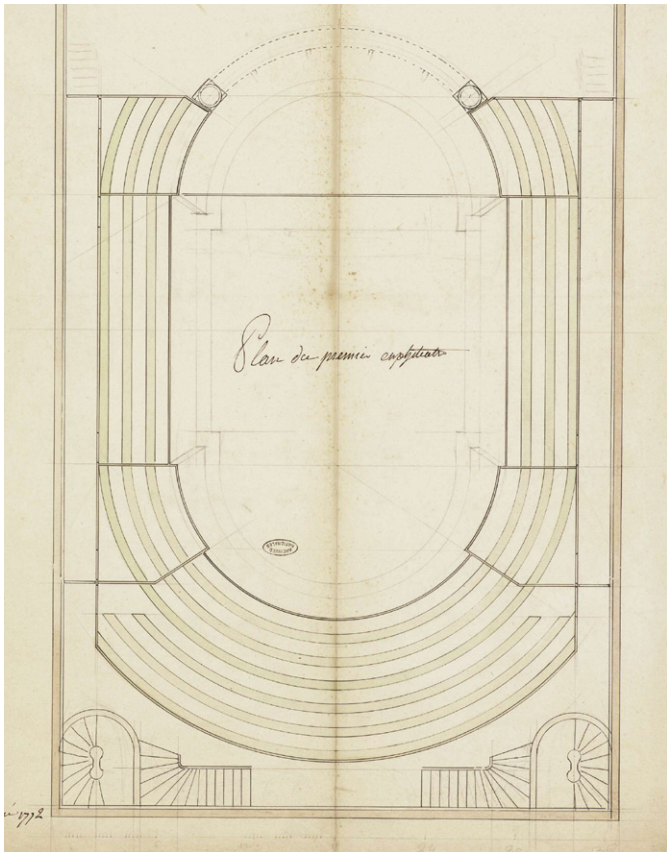


Fig. 147. Planche A.N. N/III/Seine/262/5, montrant le plan du parquet pour le projet FSG-GUI, la filiation avec BT-MOD1 est évidente.

le plan ne précise pas la profondeur de la scène. Un proscenium de 2,3 m s'avance en avant du cadre de scène. Curieusement, les deux niveaux de loges sont parfaitement horizontaux et ne s'avancent pas en pente douce vers la scène, contrairement au précédent théâtre du Boulevard du Temple. De l'ancien projet, on conserve néanmoins l'idée d'un amphithéâtre s'avançant au-dessus du parterre.

L'architecte a réalisé une belle coupe longitudinale du projet au lavis qui permet de mesurer l'évolution de la décoration par rapport au premier projet : on quitte l'univers rocaille pour un ensemble plus rigoureux néo-classique mais où pendent encore ça et là quelques guirlandes de fleurs.

FSG-GUI, « Foire Saint-Germain, rue Guisarde »

La filiation qui lie le projet décrit par ces huit plans au projet BT-MOD1 est évidente : le plan de la salle y est très semblable (*Fig. 147*), jusque dans sa largeur (10,4 m). La chemise qui contenait ces plans indiquait que le projet prenait place « dans l'enceinte de la Foire Saint-Germain du côté du cul-de-sac Guisard au lieu dit 'Le Magasin des Marchands Drapiers' »[28] et est daté de 1772. Nous n'avons pas pu identifier le magasin des Marchands Drapiers à la Foire Saint-Germain.

L'organisation de la salle reprend donc une forme non pas elliptique mais de deux demi-cercles réunis par une portion droite. D'une profondeur de 14 m, la salle s'organise au rez-de-chaussée avec un grand parquet en pente douce séparé du proscenium de 2 m de profondeur par un emplacement pour l'orchestre. Au fond de la salle, de chaque côté de l'entrée principale axiale et sous les premières loges, un parterre debout est installé. Tant aux premières loges qu'aux deuxièmes, aucune séparation ne vient réellement constituer des loges mais on assiste plutôt à la consti-

28 A.N. N/III/SEINE/262/2.

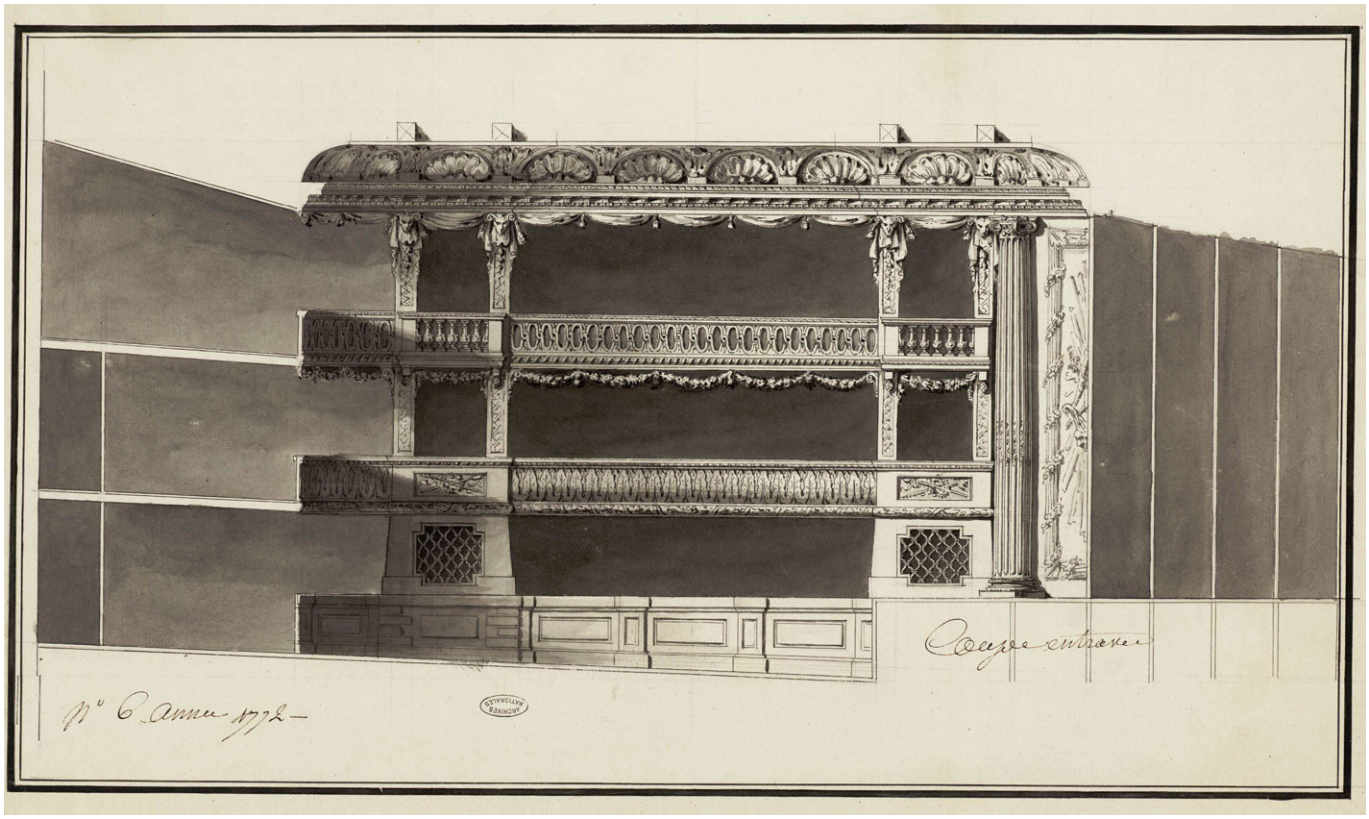


Fig. 148. **Planche A.N. N/III/Seine/262/7. La coupe longitudinale de FSG-GUI est dessinée et ombrée avec soin.**

tution d'un grand amphithéâtre qui entoure l'espace central occupé par le parquet. Les deux étages de loges sont horizontaux.

L'accès du projet reprend l'organisation mise en place pour le projet de la Foire Saint-Germain (FSG-APD) avec une circulation différenciée pour les spectateurs des deuxièmes loges depuis la rue via des escaliers hélicoïdaux. L'entrée du théâtre se fait également par un espace semi-cylindrique qui permet d'accéder au choix au parterre en face ou aux loges à droite comme à gauche. Ici aussi, des guichets pour vendre les place sont aménagés sous les escaliers et donnent directement sur l'espace extérieur.

Pour illustrer cette architecture, Cellerier a produit trois coupes ombrées avec soin qui montrent la décoration prévue pour un tel espace (*Fig. 148*). Notons dès à présent qu'elles sont d'une facture supérieure à l'ensemble des autres lavis du corpus et présentent un double liseré qui vient les encadrer. La décoration trahit plusieurs influences : on retrouve le style rocaille dans le style des pilastres qui viennent soutenir les niveaux de loges, dans les coquillages qui apparaissent au plafond et dans les treilles de certaines loges. Le cadre de scène est quant à lui plutôt classique, encadré de deux colonnes cannelées ioniques au galbe prononcé. Très curieusement, au-dessus du cadre de scène apparaissent deux anges tenant un blason à trois fleurs de lys surmonté d'une couronne : les armoiries du roi de France qui figuraient par exemple au-dessus de la scène de la Comédie-Française dans la salle Richelieu partir de 1782[29]. Sur le rideau de scène, un œil unique projette de la lumière sur l'ensemble du rideau, au travers d'un monogramme qui pourrait figurer deux « L » enlacés. Une telle décoration devait-elle faire état d'un privilège royal dans l'établissement du théâtre ainsi projeté ? Il est impossible de répondre à cette question sans connaître le contexte d'établissement de ce plan.

29 Voir à ce sujet la représentation d'Antoine Meunier dans les collections de la BnF : ark:/12148/btv1b10303194d.

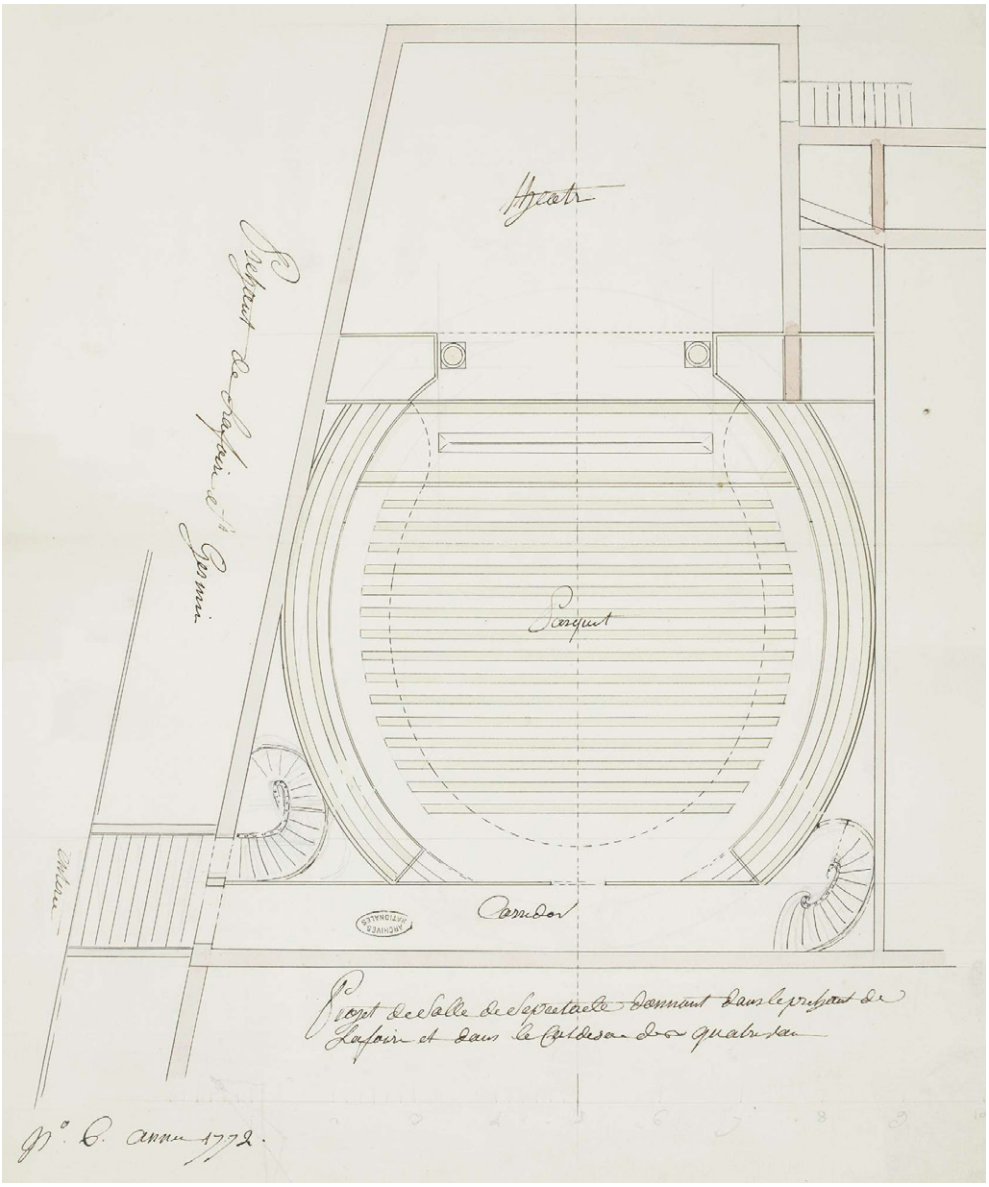


Fig. 149. Planche A.N. N/III/Seine/262/9, montrant le plan du parquet pour le projet FSG-PRE, avec une forme elliptique bien marquée.

FSG-PRE, « Foire Saint-Germain, Préau »

Ce projet de « Salle de Spectacle donnant dans le préau de la Foire et dans le cul-de-sac des Quatre Vents »[30] est décrit par onze plans datés de 1772. L'indication nous permet de situer avec précision l'emplacement de ce projet, imaginé en lieu et place d'une bonne partie du jardin d'une des propriétés jouxtant le préau de la Foire à l'est. L'intérêt de cette position est de donner à la fois sur le préau grâce au percement d'une porte et sur le cul-de-sac des Quatre-Vents qui fut depuis le début du XVIII[e] siècle un haut lieu des spectacles forains. La parcelle sur laquelle s'installe ce projet n'est pas rectangulaire mais trapézoïdale : les deux murs latéraux de la salle ne sont pas parallèles, et le mur côté scène est plus court que le mur du fond de la salle.

Pour s'installer dans cet espace, l'architecte a conçu une salle elliptique dont le grand axe (la profondeur de la salle) fait 14,6 m et le petit axe (la largeur maximale de la salle) fait 12,5 m (*Fig. 149*). Un cadre de scène limité par deux colonnes et d'une ouverture de 5,2 m sépare la salle de la scène, d'une largeur maximale de 10,9 m et d'une profondeur de 6,9 m. Un proscenium de 1,7 m vient continuer la scène vers la salle. Deux versions de ce projet subsistent, la première installant l'ellipse de la salle

30 A.N. N/III/SEINE/262/9.

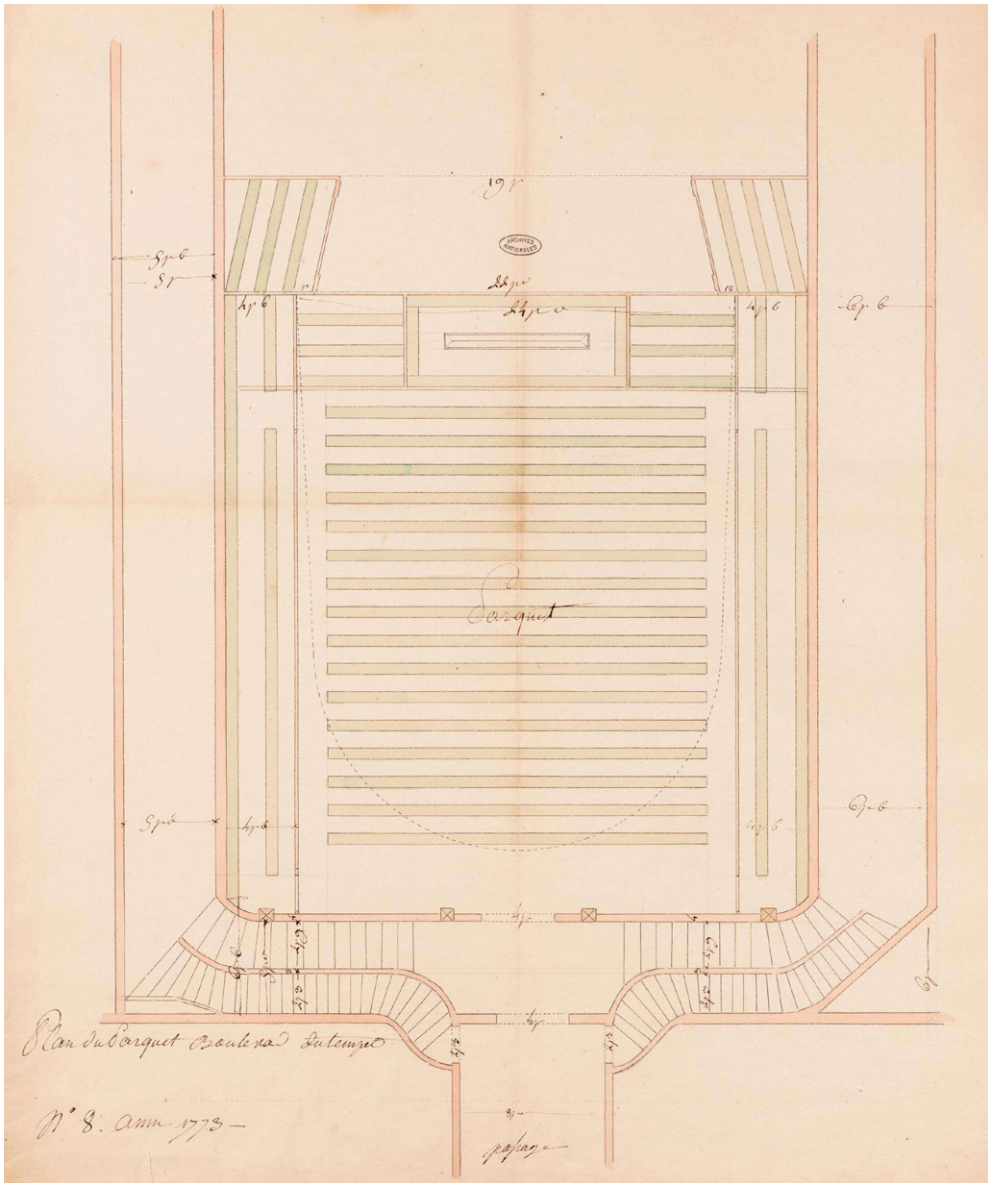


Fig. 150. Planche A.N. N/III/Seine/1029/4, montrant le plan du parquet pour le projet BT-MOD2.

avec son grand axe parallèle à celui du mur est, la seconde avec un grand axe selon l'angle moitié entre les deux murs latéraux de la salle.

Un grand parquet assis, en pente douce vers la scène, occupe le rez-de-chaussée. Deux étages de loges se superposent en pente douce, le second en retrait, au-dessus de ce parquet. Dans les premières loges apparaissent des séparations verticales en col de cygne délimitant effectivement des loges. Un plan permet également de visualiser le décor sur scène, composé de cinq plans de latéraux et de deux lointains. Le plafond de la salle est également détaillé, et apparaît derrière une corniche elliptique l'image d'anges dans des nuages.

La circulation des spectateurs dans ce projet est également différenciée : une première entrée permet d'accéder au parquet et aux premières loges, tandis qu'une seconde entrée donne accès directement par un escalier hélicoïdal aux deuxièmes loges.

BT-MOD2, « Boulevard du Temple, Modification 2 »

La description de ce projet sur la chemise qui contient les plans est assez explicite : « Plan et profil [de la] Salle du Boulevard du Temple pour les changements de la salle, [du] théâtre, [du] corridor, etc. année 1773 »… autant dire que le projet

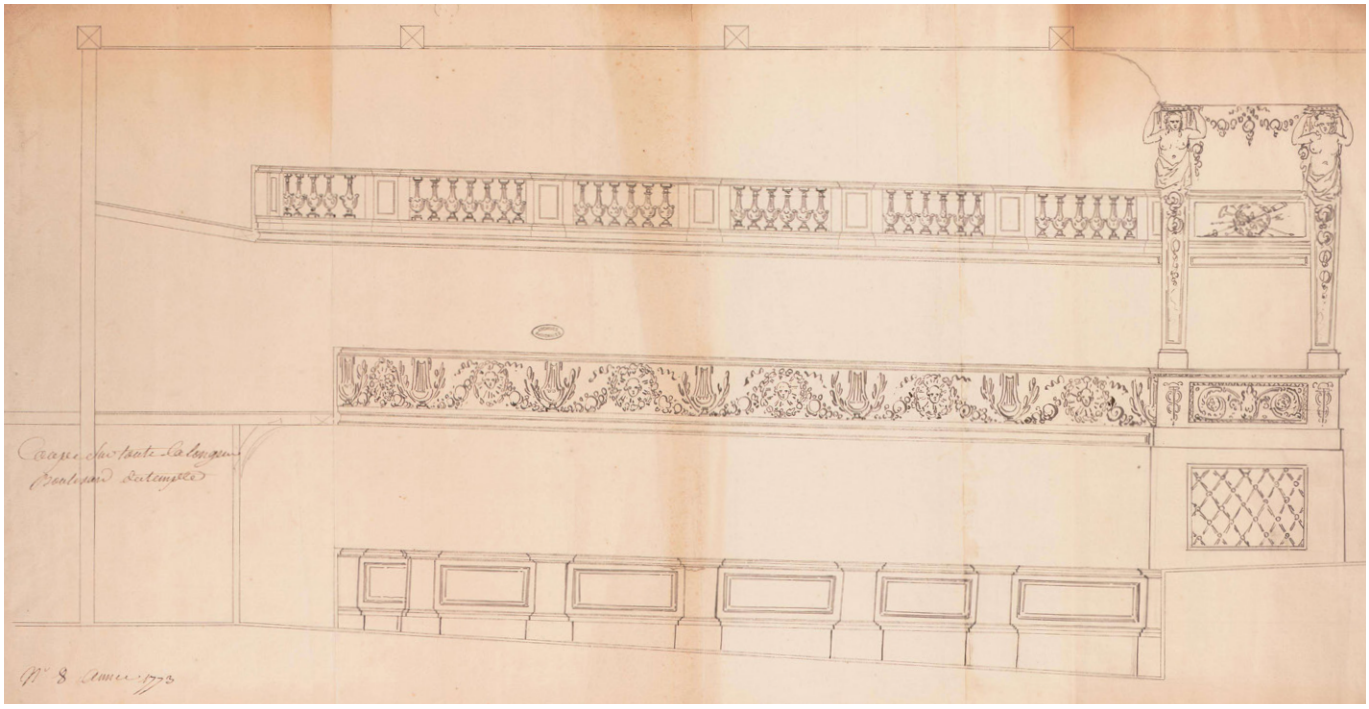


Fig. 151. Planche A.N. N/III/Seine/1029/3, montrant la coupe longitudinale du projet BT-MOD2 et la décoration prévue. Une loge grillagée est visible en bas à droite.

prévoyait la réfection totale de la salle. Nous avons identifié 21 planches qui peuvent faire partie de ce projet. Parmi elles, notons que les folios N/III/SEINE/260 4 à 7 concernent *a priori* un projet de changement de l'avant-scène daté de 1770. Ce projet reprend beaucoup d'éléments du cadre de scène établi dans FSG-APD.

Le cœur du projet reste cependant d'établir une nouvelle salle en lieu et place de l'ancienne salle d'Audinot au Boulevard du Temple. Comme pour BT-MOD1, l'idée principale du projet consiste à rejeter les circulations permettant d'accéder aux loges à l'extérieur de l'emprise de la salle en construisant des corridors extérieurs. La largeur de la salle ne varie pas, et reste donc à 10,4 m mais les assises peuvent y occuper une plus grande largeur. Un épais cadre de scène vient ménager une ouverture de scène de 6 m et un proscenium de 2,2 m, il permet également l'installation de loges dans son épaisseur.

Devant la scène s'étend un parquet qui occupe tout l'espace derrière le box de l'orchestre, actant ainsi la disparition d'un parterre debout dans ce théâtre (*Fig. 150*). Les premières loges, qui dessinent un U légèrement évasé permettent une lecture plus simple de l'espace de la salle par rapport à l'ancien projet BT-PRO2 et l'on abandonne au passage l'amphithéâtre construit au-dessus du parterre. Les secondes loges reprennent une disposition similaire. L'accès n'est pas différencié mais le tracé particulièrement complexe des escaliers rend compte de la difficulté à placer une salle plus longue dans un même espace.

La décoration prévue dans la salle n'est qu'esquissée (*Fig. 151*). Des pilastres surmontés de cariatides viennent supporter le cadre de scène. Au niveau des premières loges, la décoration florale reprend le thème des lyres soutenant des guirlandes de fleurs, tandis qu'au niveau des deuxièmes loges des balustrades néo-classiques sont dessinées.

Ce projet traduit la nécessité de modifier l'architecture de la salle très peu de temps après son ouverture. Ça n'est pas surprenant si l'on considère que le parti architectural de 1769 était passé de mode au moment même de sa réalisation. Les contraintes architecturales de ce nouveau projet, qui semble exclure toute reconstruction de l'enveloppe du bâtiment (les travaux touchant uniquement l'architecture de l'intérieur de la salle, ni la scène, ni la toiture), mènent à des réponses complexes, notamment du point de vue de la circulation. Fut-il l'objet d'une réalisation ? Il

semble que vers 1772 le théâtre d'Audinot ait subi des modifications et que la salle ait été rebâtie[31]. Mayeur de Saint-Paul précise même qu'Audinot « joignit un corridor qui donnait de la rue basse dans une loge grillée » : or il apparaît bien sur ces plans que des corridors ont été construits de part et d'autre de la salle et qu'ils donnent effectivement accès à une loge grillée au pied du cadre de scène. Mais la différence d'un an, où les plans auraient un an de retard sur la réalisation, nous fait douter de cette possibilité, à moins d'y voir une autre erreur de datation. Dans tous les cas, c'est seulement en 1786 qu'un projet de réfection d'envergure de la salle sera mené à bien par Cellerier, qui lui donnera alors une tout autre ampleur, avec une forme de fer à cheval, trois niveaux de loges, une décoration néo-gothique, des circulations plus larges au parcours rationnel… et surtout une scène avec d'importants dessous pour les machineries[32]. L'Ambigu-Comique n'a alors, mise à part sa façade conservée, plus rien à voir avec la petite structure presque provisoire conçue par Cellerier en 1769.

FSO, « Foire Saint-Ovide »

Ce projet pour la Foire Saint-Ovide est décrit seulement par deux documents : un plan et une coupe. Il est daté de l'année 1773 et ambitionnait donc probablement de permettre l'ouverture d'un théâtre à cette foire qui se tenait traditionnellement à la fin du mois d'août[33].

Le projet montre un théâtre isolé construit dans un bâtiment d'une longueur de 19,6 m pour une largeur de 9,8 m, et surmonté d'un toit à deux pans. À l'intérieur, la salle d'une largeur de 9,6 m occupe une profondeur de 13,6 m, laissant une profondeur de 5,5 m à la scène qui occupe toute la largeur du bâtiment. Le cadre de scène permet une ouverture de scène de 6,2 m et ménage un proscenium de 2,2 m de profondeur. Verticalement, la salle est divisée en un parterre, où l'on ne sait si les spectateurs étaient assis ou debout, et des premières loges dont la composition est également inconnue.

L'accès au bâtiment se fait par un porche soutenu par quatre colonnes ovales. De chaque côté de ce porche, et non couvertes par lui, des ouvertures permettent la vente des billets. Elles correspondent à l'intérieur du théâtre au-dessus des escaliers permettent d'accéder symétriquement au premier étage depuis l'entrée.

Si la coupe de la salle (*Fig. 152*) rappelle le théâtre de marionnettes pour la Foire Saint-Germain de 1769, FSG-M, le plan dénote une évolution puisque les premières loges décrivent un U évasé sans angle. De manière surprenante, le cadre de scène continue en plan dans l'alignement des branches des premières loges, de telle sorte qu'au lieu de rétrécir l'ouverture de la scène, il l'élargit. La décoration reprend également certains codes du théâtre de marionnettes à la Foire Saint-Germain : les pilastres s'élargissant vers le haut et les décors de treilles fleuries. Les plans ne fournissent pas d'indication sur l'organisation de la scène et l'on ne sait si ce petit théâtre était dédié aussi à des marionnettes ou à des spectacles plus traditionnels. Était-ce encore un projet pour Audinot à la Foire Saint-Ovide ? On sait que l'entrepreneur de spectacle y avait une loge et qu'il conservait également Cellerier comme architecte puisqu'il fit concevoir un nouveau bâtiment en 1777 pour cette foire dont les détails nous sont parvenus :

> Le sieur Audinot, jaloux de se distinguer en certaines choses, a fait élever à cette foire une salle qu'on a trouvée aussi commode qu'élégante et qu'il pourra reconstruire chaque année. C'est le sieur Cellerier, habile architecte […] qui a donné le plan, vraiment neuf et singulier, de cette nouvelle salle de l'Ambigu-Comique […]. Un superbe portail, soutenu par des colonnes peintes en marbre et de l'ordre toscan introduit dans une cour

31 Mayeur de Saint-Paul 1782, p. 107.
32 Radicchio et Sajous D'Oria 1990, p. 70-71.
33 Beaucé 2019.

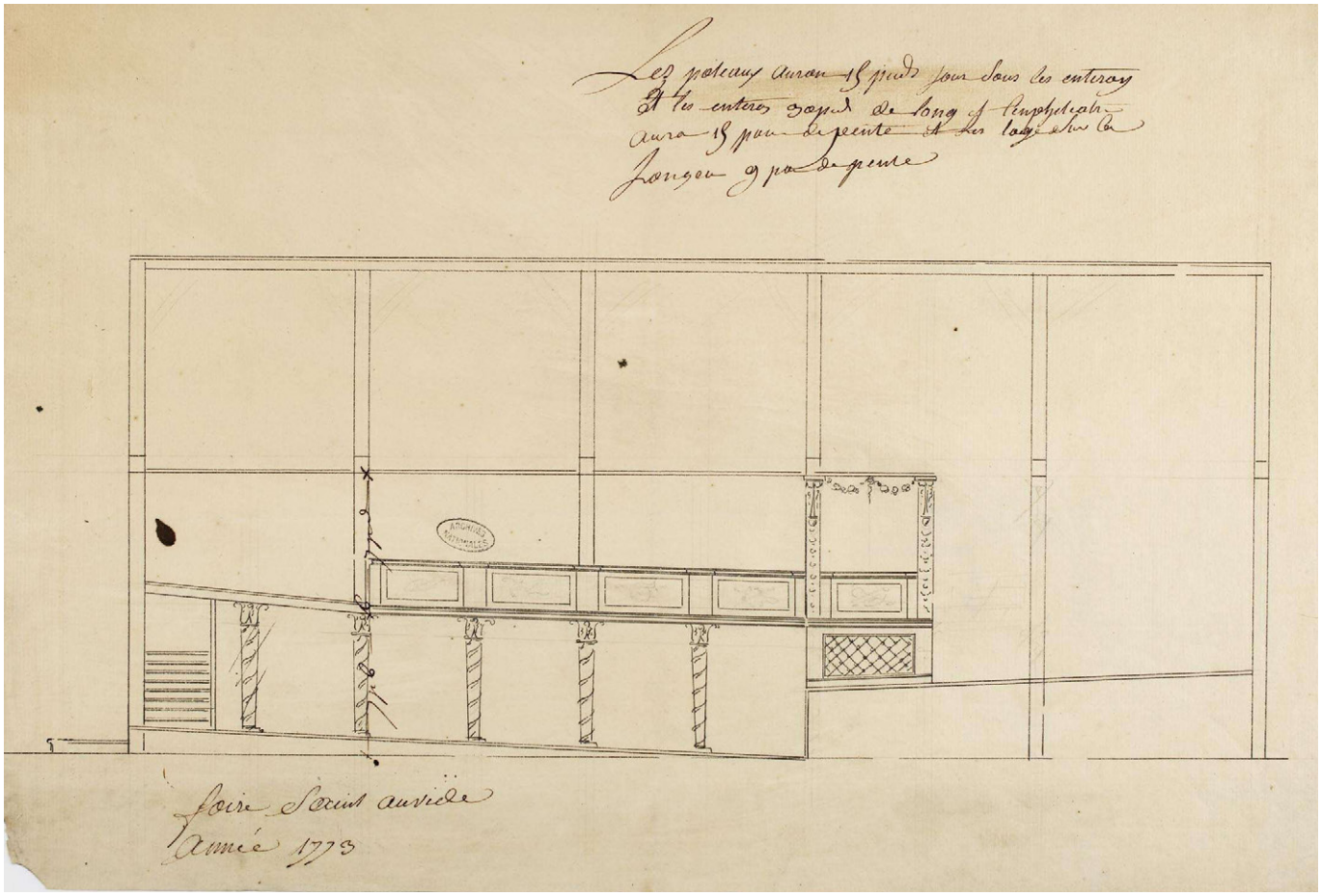


Fig. 152. Planche A.N. N/III/Seine/1061/3, montrant la coupe longitudinale du projet FSO.

> très large, d'où l'on monte par plusieurs marches dans la salle des spectacles. Cette salle est de forme ovale, garnie de deux rangs de loges, en comptant celles qui règnent autour du parquet […]. Le pourtour des loges supérieures est une balustrade peinte, en marbre blanc, sur laquelle on a jeté négligemment un riche tapis à franges et à crépine d'or, et qui est soutenue par des thermes et cariatides qui portent sur la tête des corbeilles remplies de fleurs […][34].

Le théâtre ainsi décrit reprend indiscutablement des thèmes chers à Cellerier que nous avons pu croiser dans ces différents projets, et même dans celui pour la Foire Saint-Ovide, que ce soit le portique d'entrée, la salle ovale ou la décoration… achevant de nous convaincre sur la paternité de ces plans.

Filiation des projets

En décrivant succinctement les différents jeux de plans conservés dans le corpus d'archives qui nous intéresse, nous avons mis en évidence certaines filiations entre plusieurs idées de projets. Ces projets partagent de nombreux points commun, à commencer par leur échelle. En comparant les dimensions de toutes les salles on s'aperçoit qu'il s'agit d'un corpus qui de ce point de vue fait preuve d'une grande homogénéité. Tout au plus la salle FSG-M dénote-t-elle avec une ampleur réduite par rapport au reste : s'il s'agit bien du projet qui lança la carrière d'Audinot, cette différence s'explique aisément. Tous les autres projets ont des largeurs de salle comprises entre 9 et 14 m, des longueurs de salle compris entre 13,6 et 15 m. L'ouverture du

34 Nous tenons cet extrait de Faul 2013, p. 67 qui cite l'ouvrage *Les Spectacles des Foires et des Boulevards de Paris* pour l'année 1777 que nous n'avons pu consulter.

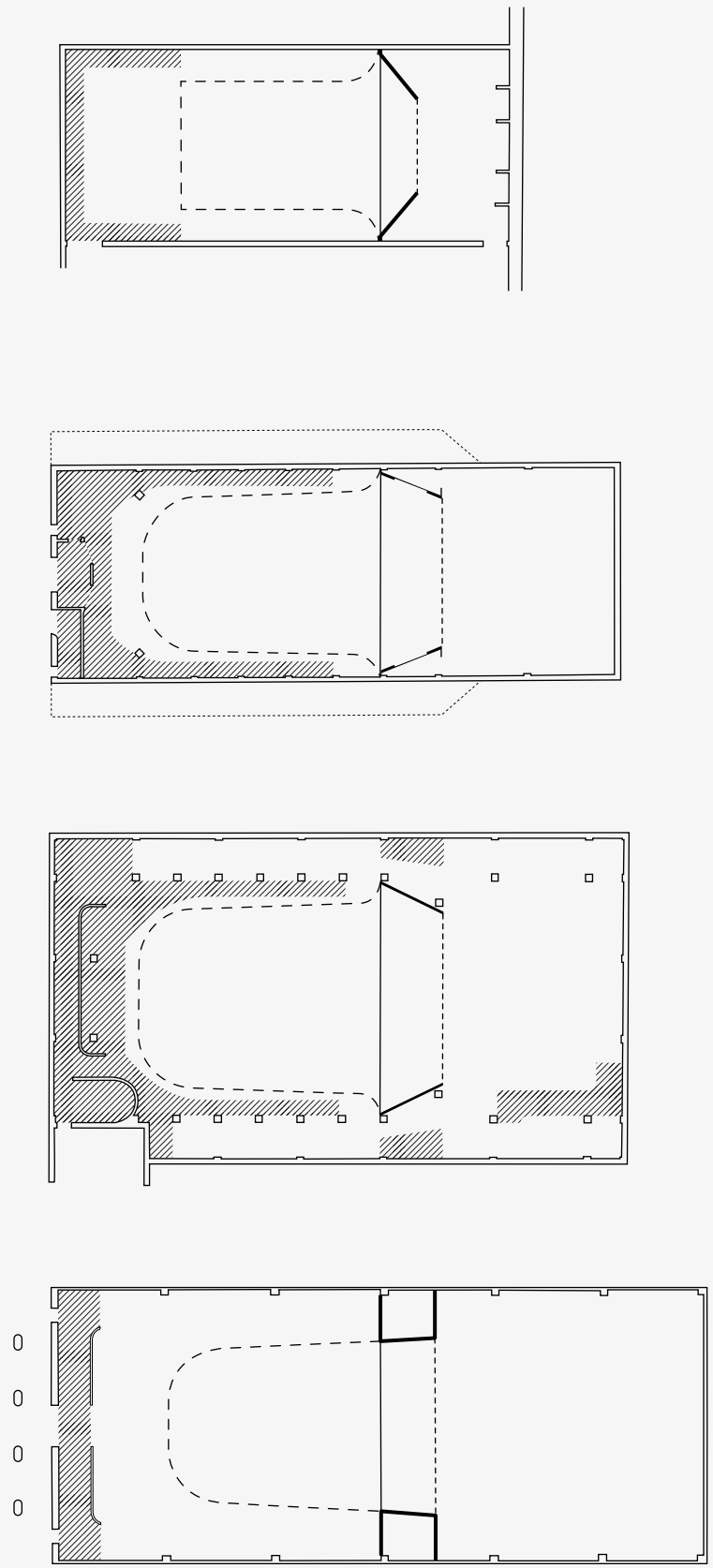


Fig. 153.De haut en bas : plans des parterres ou parquets de FSG-M, FSG-APS, FSG-APD, FSO, représentés à la même échelle.

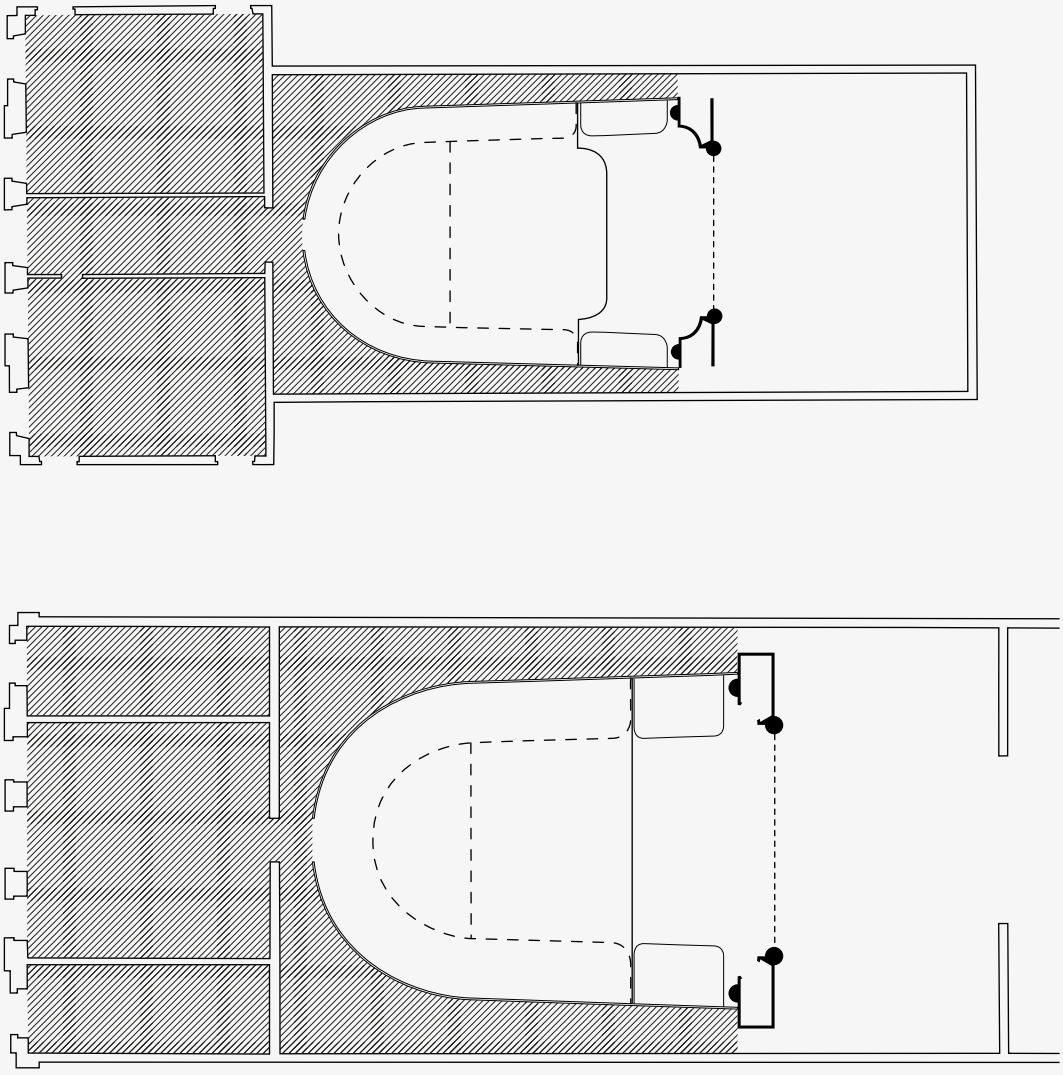


Fig. 154. De haut en bas : plans des parterres ou parquets de BT-PRO1, BT-PRO2, BT-MOD2 représentés à la même échelle.

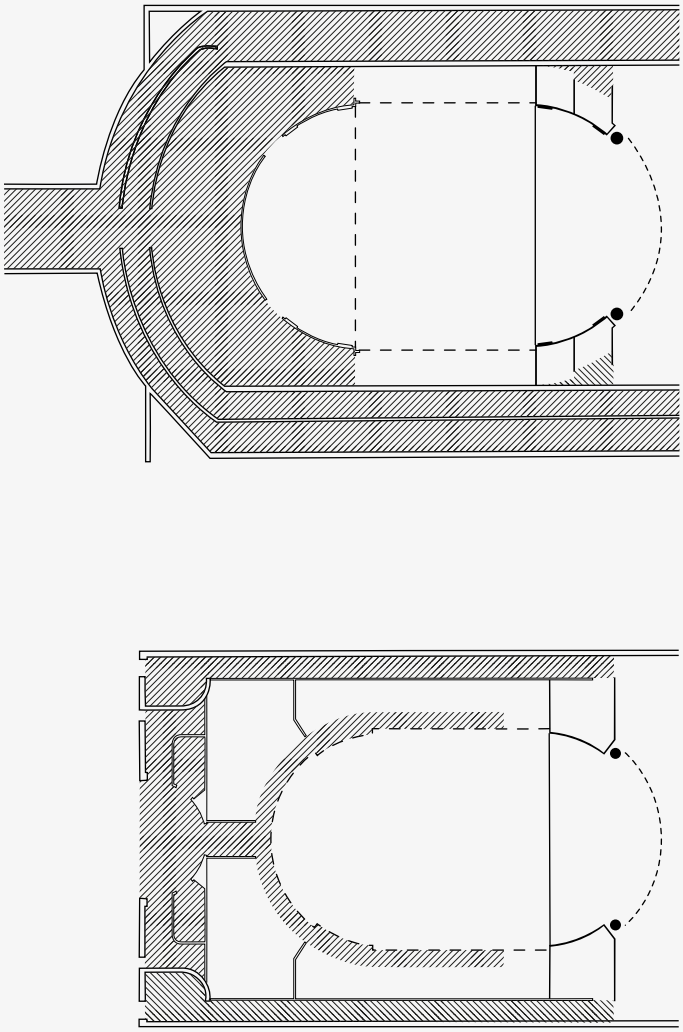


Fig. 155.De haut en bas : plans des parterres ou parquets de BT-MOD1, FSG-GUI et FSG-PRE représentés à la même échelle.

cadre de scène, qui définit en quelque sorte l'envergure des spectacles que l'on pouvait jouer sur la scène, est comprise en 5,2 m et 6,3 m. Cette dimension est à comparer aux plus de 18 m d'ouverture de la scène de la Comédie-Française rue des Fossés Saint-Germain qui bénéficie certes d'un statut particulier. La dimension réduite de l'ouverture de la scène s'explique non seulement par l'entreprise modeste d'Audinot à ses débuts mais également par les spectacles qu'il fait jouer : marionnettes et spectacles d'enfants[35]. De ce point de vue, le corpus est d'une grande homogénéité.

Projet	Largeur de la salle (m)	Profondeur de la salle (m)[36]	Largeur de la scène (m)	Profondeur de la scène (m)[37]	Ouverture du cadre (m)	Profondeur du proscenium (m)[38]
FSG-M	7,5	10,4	7,5	3,2	3,8	1,3
BT-PRO1	10,4	13,6	10,4	8,5	5,2	3,3
BT-PRO2	13,6	14,0	13,6	6,9	6,3	3,3
FSG-APS	9,3	13,0	7,0	5,8	5,1	2,1
FSG-APD	11,3	13,6	11,3	6,3	6,0	2,2
BT-MOD1	10,4	14,9	10,4		6,0	2,3
FSG-GUI	10,4	14,0	11,9		5,6	2
FSG-PRE	12,5	14,6	10,9	6,9	5,2	1,7
BT-MOD2	10,4	14,5	10,4		6,0	2,2
FSO	9,6	13,6	9,6	5,5	6,2	2,2

Table 10. Dimensions caractéristiques, en plan, des théâtres du corpus étudié.

Pour aller plus loin que cette relative homogénéité dimensionnelle et afin de montrer l'évolution et la « génétique » architecturale de ces différents projets[39], nous proposons d'étudier onze « gènes », dont certains acceptent des mutations, au sein de ces projets architecturaux. Nous avons choisi d'exclure les critères de dimension (largeur et profondeur de la salle ou de la scène, ouverture du cadre de scène, ou nombre d'étages) au profit de caractéristiques qui concernent directement l'organisation de l'espace. De nombreux autres critères auraient également pu faire partie de cette liste, mais nous avons souhaité la laisser la plus concise possible avec les critères suivants :

- La forme de la salle, et notamment le plan des loges, qui accepte trois mutations :
  - la forme rectangulaire,
  - la forme en U évasé,
  - la forme elliptique ;
- La présence d'un proscenium dépassant du cadre de scène ;
- La présence de spectateurs sur scènes (ou sur le proscenium) ;
- La présence de loges aménagées dans l'épaisseur du cadre de scène ;
- Un amphithéâtre construit au-dessus du parterre ;
- Un parterre exclusivement assis ;
- La forme du cadre de scène, qui accepte deux mutations :

35 Faul 2013, p. 40-42.
36 Définie du fond de la salle jusqu'au rideau de scène.
37 Définie du rideau de scène jusqu'au fond de la scène.
38 Définie depuis le rideau de scène jusqu'au nez de la scène.
39 La génétique architecturale est un domaine en soi (de Biasi 2000) que nous ne faisons ici qu'effleurer afin de mettre en relation ces projets. Cette discipline s'intéresse traditionnellement, comme la génétique littéraire, à l'évolution du projet d'une seule œuvre, et non à l'évolution de plusieurs projets conjointement.

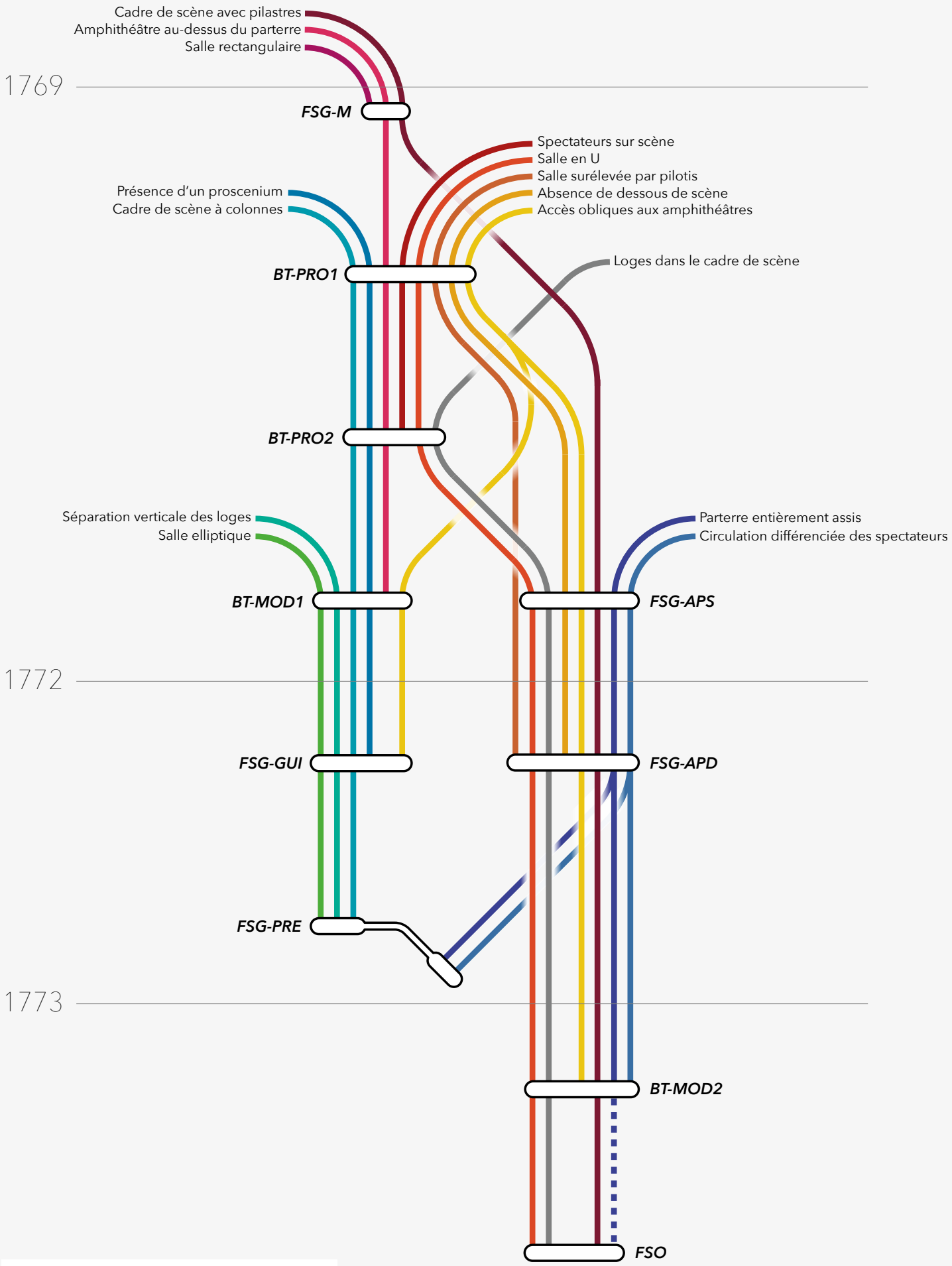


Fig. 156. Représentation de la répartition des caractéristiques « génétiques » définies dans l'ensemble des plans du corpus étudié aux Archives Nationales.

    - des colonnes faisant office de cadre,
    - des pilastres encastrés en guise de cadre,
- L'absence de dessous de scène ;
- La salle construite sur pilotis ;
- L'accès aux rangs de l'amphithéâtre par des passages obliques ;
- La circulation différenciée des spectateurs.

En attribuant à chacun des projets la présence ou l'absence de ces critères il est possible d'établir des rapprochements entre plusieurs projets et de définir plusieurs familles selon les caractéristiques partagées. Il est également possible de représenter ces relations sous la forme d'un schéma représentant l'injection de nouveaux concepts dans les plans, leur disparition et leur partage d'un projet à l'autre (*Fig. 156*). Sur ce schéma, nous avons fait le choix de représenter cela sous la forme d'un plan type « métro », dans lequel chaque concept irrigue un certain nombre de gares qui sont les projets. Chaque injection simultanée de nouveaux concepts est représentée par un dégradé de couleurs similaires (verts, bleus, roses et oranges).

Sans surprise, FSG-APS et FSG-APD partagent de très nombreux gènes communs, l'évolution architecturale majeure entre les deux relevant seulement de l'élévation de la salle sur pilotis. On voit néanmoins apparaître deux familles de filiation : la première comprenant BT-PRO2, BT-MOD1, FSG-GUI et FSG-PRE, la seconde comprenant FSG-APS, FSG-APD, BT-MOD2 et FSO. Les projets FSG-M et BT-PRO1 font figure d'ancêtres communs à l'ensemble : les concepts qu'ils introduisent irriguent le reste des projets. Une telle représentation permet également de constater que malgré des dimensions similaires qui imposent une coupe avec certaines similarités, les projets FSG-M et FSO ne partagent qu'un seul des critères que nous avons choisi : l'introduction de critères basés sur la décoration ou la dimension du théâtre aurait probablement montré plus de points communs. Cette situation a néanmoins l'intérêt de mettre en valeur le chemin parcouru par l'architecte (et son commanditaire ?) depuis ses projets de 1769 jusqu'aux projets de 1773.

Selon nous, les imbrications visibles entre ces différents projets, dont cinq sont dédiés à la Foire Saint-Germain, sont la preuve de la nécessité d'une étude préalable de l'ensemble de ce corpus avant même de s'attacher à un projet particulier. Il serait probablement pertinent de pouvoir pousser cette étude à l'ensemble des projets de théâtre réalisés par Cellerier au cours de sa carrière mais un tel travail dépasse très largement le contexte de cette thèse.

Modélisation d'un théâtre pour la Foire Saint-Germain de 1772

La grande richesse de ce jeu d'archives conservé aux Archives Nationales a permis d'imaginer très tôt la restitution d'un des projets de théâtre qui y figure. On l'a vu, plusieurs de ces projets prennent place à la Foire Saint-Germain dont nous avons évoqué en détail le contexte architectural et culturel dans le chapitre 5. Parmi eux, nous n'avons des présomptions de l'existence réelle que d'un seul projet de théâtre : on sait en effet qu'Audinot donnait des représentations de marionnettes en 1769, ce qui pourrait laisser penser que le projet FSG-M a bien été réalisé. C'est donc le seul pour lequel il est possible d'évoquer une restitution à proprement parler. La réalisation des autres projets forains reste hypothétique et l'on est donc tenté de replacer leur éventuelle modélisation dans le champ de l'histoire contre-factuelle, c'est-à-dire dans l'étude des événements qui ne se sont pas réalisés, avec comme question initiale « et si ? ». Et si le projet d'un théâtre pour la Foire Saint-Germain que nous avons appelé FSG-APD avait réellement fait l'objet d'une réalisation ? C'est la question à laquelle on propose de répondre dans la suite de ce chapitre. Les plans de ce projet contiennent en effet, on le verra, une définition précise des usages et de la morphologie ou de la décoration des différents espaces du théâtre. Ils permettent de fournir à eux seuls, en raison de leur nombre, une base documentaire suffisante à la modélisation de ce projet.

Les plans conservés aux Archives Nationales, s'ils présentent bien quelques éléments de décoration, sont avant tout des plans qui détaillent l'organisation structurelle des projets. Dès lors, nous réaliserons dans un premier temps une modélisation tridimensionnelle qui s'attache au plus près à restituer l'information contenue dans ces plans dans la troisième dimension. Modéliser ce projet sera l'occasion non seulement de donner vie à cet ensemble documentaire en créant des liens entre les différentes planches conservées aux Archives, mais également de mieux comprendre le projet proposé lui-même. L'objectif de la restitution est d'aller plus loin que la représentation en trois dimensions de ce qui est représenté dans ces plans. Nous proposons de compléter les données éludées par l'architecte, comme on le ferait avec tout autre information manquante dans une restitution archéologique, pour produire un modèle visuellement réaliste de la salle et de la scène représentées permettant à terme l'immersion de chercheurs dans cet espace et la démonstration au grand public. Il s'agit *in fine* de mieux comprendre à quoi pouvait ressembler une salle de théâtre à la Foire Saint-Germain dans les années 1770, l'adéquation éventuelle de l'architecture avec le répertoire d'Audinot, et de tordre le cou à l'image d'Épinal du « théâtre de foire ».

Cette restitution contrefactuelle, si tant est que cet oxymore ait du sens, nécessite d'avoir recours aux différents outils et méthodes que nous avons mis en place : il s'agit donc de tester, sur un terrain d'étude légèrement différent du théâtre de marionnettes représenté sur la miniature de Blarenberghe, la validité et la pertinence de la rétro-architecture et de PROUVÉ. L'objectif de la restitution étant établi, la collecte de documents a été traitée en première partie du présent chapitre et leur contextualisation profite de celle que nous avons réalisée au chapitre 5 sur les théâtres de la Foire Saint-Germain. Nous souhaitons donc entreprendre dans la suite de ce chapitre le recoupement et l'analyse des documents, la modélisation et la visite virtuelle du théâtre.

Si la première itération de ce cycle concernera un modèle de théâtre structurel reprenant uniquement les informations explicités sur les plans de Cellerier, une deu-

xième itération complétera ces informations pour réaliser un environnement visuellement réaliste et nécessitera donc de consulter et d'intégrer d'autres sources.

Modélisation structurelle

Il s'agit, dans cette modélisation structurelle, de ne faire figurer dans le modèle tridimensionnel que les éléments qui sont explicitement décrits dans les plans de l'architecte Cellerier. Pour modéliser la structure de ce théâtre pour la Foire Saint-Germain de 1772, il est nécessaire dans un premier temps d'identifier quelles informations nous pouvons extraire de l'ensemble des plans qui sont parvenus jusqu'à nous. Dès lors, nous réaliserons un inventaire des informations contenues dans ces plans. Le modèle virtuel que nous créons est conçu et affiché en appliquant certains principes de représentation qu'il nous paraît opportun de détailler. Nous évoquerons ensuite les difficultés rencontrées, dues aux interprétations multiples et conflictuelles de certains documents du jeu d'archives. Enfin, nous détaillerons les caractéristiques principales de ce projet, telles que révélées par la maquette numérique.

Plans du projet

Les Archives Nationales conservent deux version du projet de Cellerier pour la Foire Saint-Germain, une première commencée vers 1769 et que nous avons dénommée FSG-APS, et la seconde, plus aboutie, que nous avons dénommée FSG-APD. Ensemble, ces deux projets comportent 66 plans, la deuxième version comprenant 41 planches. Si nous avons évoqué très rapidement le contenu de ces plans dans la partie précédente, nous devons en faire une description systématique afin de savoir quelles données sont disponibles à la réalisation du modèle virtuel.

Référence[40]	Titre original de la planche	Commentaire
32	Coupe sur l'amphithéâtre, loge […] et théâtre	Coupe longitudinale montrant l'ensemble de la salle, avec les décorations détaillées du parterre, des premières loges, des deuxièmes loges, de la corniche et du cadre de scène.
33	Coupe du côté de l'avant-scène	Coupe transversale montrant la décoration du cadre de scène et le rideau de scène ouvert. Montre également les hauteurs des niveaux de loges.
34	Plafond	Vue du plafond montrant les plafonds des secondes loges, du cadre de scène et celui ornant l'ensemble de la salle. L'emplacement des lustres est marqué par un cercle. Le plafond présente un décor de divinités et anges dans le ciel, réalisé au lavis réhaussé de bleu et rose.
35	Coupe de l'amphithéâtre	Coupe transversale de la salle, regardant vers le fond. La décoration des séparations du parterre, des premières et deuxième loges et de la corniche est détaillée au lavis rehaussé de rouge et de jaune.
36		Chemise contenant les plans.
37	Coupe de la construction du côté du théâtre	Coupe transversale sur la salle et le rez-de-chaussée montrant le système constructif, les combles et l'encorbellement sur les parties publiques. Un décor est esquissé sur la scène.
38	Coupe […]	Coupe longitudinale incomplète, sur le cadre de scène et les loges. Dessin préparatoire à la mine encré en partie. La décoration des premières et deuxièmes loges est esquissée à la mine.
39	Coupe de construction entrant sur les loges et l'amphithéâtre	Coupe transversale cotée de la salle et du rez-de-chaussée, montrant l'emprise des étages de loges.

40 Pour des raisons de place, nous n'indiquons que le numéro de planche de la liasse, il faut donc lire N/III/Seine/1040 suivi du numéro indiqué en référence.

Référence[40]	Titre original de la planche	Commentaire
40	Coupe de construction dans toute la longueur	Coupe longitudinale cotée de la salle et du rez-de-chaussée, montrant les chevrons de la couverture.
41	Plan sur 21 pieds 6 pouces au rez-de-chaussée sur les anciennes fondations.	Plan inachevé des deuxièmes loges, esquissé pour moitié, montrant le placement des bancs et des croquis d'escaliers.
43	Coupe projeté pour mettre les loges en saillie sur les rues et le parterre dans la dimension donnée.	Coupe transversale du projet avant que la salle ne soit placée à l'étage. Le parterre est placé au rez-de-chaussée dans l'emprise de la parcelle. Croquis du placement des bancs des premières loges et détail des moulures des garde-corps.
44	Plafond	Vue du plafond montrant le plafond des loges et celui de la salle, avec le détail de la sous-face de la corniche. Le plafond comporte un oculus central ovale représentant des divinités et anges dans les nuages. L'ensemble est encré et au lavis rehaussé de bleu.
45	Plan du plafond	Plan montrant les contours des premières et deuxièmes loges ainsi que plusieurs esquisses à la mine pour le dessin du plafond.
46	Plan du plancher des deuxièmes loges	Plan des deuxièmes loges montrant la structure soutenant le plancher. L'ensemble est coté. Le détail de l'escalier d'accès aux deuxièmes loges apparaît
47	Plan des deuxièmes loges	Plan des deuxièmes loges avec le détail de l'emplacement des bancs et des circulations, y compris dans le cadre de scène.
48	Plan du dessous du théâtre	Plan des loges des artistes situées sous la scène et de l'escalier permettant d'accéder à cet espace depuis la rue et jusqu'à la scène. Apparaissent en croquis les escaliers permettant de gagner la salle depuis cet étage.
49	Plan des premières loges	Plan montrant les premières loges et la scène. On distingue l'organisation des décors, les bancs des premières loges ainsi que les deux escaliers d'accès à cet espace. Proposition d'aménagement des loges du cadre de scène avec accès direct à la scène.
50	Plan du Rez de chaussée des boutiques sous la salle de spectacle	Plan montrant le rez-de-chaussée du théâtre, avec cotation. Il fait apparaître les différents espaces comme le café et son laboratoire (avec un escalier menant à la cave), plusieurs boutiques et un lieu de stockage. On distingue les différents escaliers permettant d'accéder aux étages.
51		Chemise contenant les planches avec un croquis non identifié.
52	Plan du plancher des premières loges	Plan des premières loges montrant la structure soutenant le plancher. L'ensemble est coté. Le détail de l'escalier d'accès aux premières loges apparaît.
53	Plan pour l'ajustement des châssis au plafond.	Plan montant un croquis préparatoire du dessin du plafond correspondant à 1030FSG/44. L'architecte a barré plusieurs poteaux pour signifier qu'ils ne devraient pas figurer sur ce plan (puisqu'ils ne montent pas plus haut que les premières loges).
54	Plan des fondations	Plan montrant les fondations ainsi qu'une cave dont l'accès mène au niveau du laboratoire du rez-de-chaussée. Il fait apparaître plusieurs semelles filantes supportant les poteaux de la structure.
55	Plan du parquet	Plan montrant l'organisation du parterre, avec cotation et détail des bancs et séparations entre les différentes zones du parterre. Les différents escaliers d'accès à cet étage sont détaillés.
56		Croquis préparatoire avec cotation pour la réalisation des escaliers du rez-de-chaussée et du premier étage du côté de l'entrée principale.
57	Plan du plancher pour la construction de la salle	Plan de la structure du plancher de l'étage de la salle. Il fait clairement apparaître les trémies des escaliers et les poutres maîtresses supportant l'ensemble.
58		Croquis réalisé au revers d'une planche, montrant peut-être l'emprise de l'étage en encorbellement sur la rue de la Foire. Cette emprise atteindrait environ la moitié de la largeur des rues.

Référence[40]	Titre original de la planche	Commentaire
59	Plan de construction	Plan inachevé des premières loges avec cotations, montrant l'emplacement de certains bancs et la limite des loges du cadre de scène.
60		Tracés préparatoire d'un plan d'étage ou du plafond. Il montre en trait maladroit une proposition de décoration pour le plafond, conforme à 1030FSG/44.
61	Plan de construction	Plan des premières loges (reconnaissance au demi-cercle des loges du cadre de scène), inachevé. On ne voit pas la forme du balcon qui n'a pas été dessiné et figure à l'état de croquis.
62	Plan des dessous du théâtre pour la construction	La description ne semble pas convenir au contenu du plan, inachevé, mais qui fait figurer le cadre de scène et ne saurait donc représenter les dessous du théâtre. On distingue à la mine un essai de positionnement des décors latéraux.
63		Croquis de plan, peut-être des premières loges, faisant figure des séparations nettes entre les loges, qui ne sont pas dans les plans finaux.
64		Dessin préparatoire et croquis d'une coupe longitudinale montrant une esquisse de décoration du cadre de scène. Cette coupe est la seule longitudinale qui regarde vers l'est et non vers l'ouest comme toutes les autres.
65	Plan général	Plan du rez-de-chaussée montrant, en pointillés, les débords envisagés sur les rues environnantes. Il fait également apparaître les toilettes présentes dans les cours de la Foire. La cotation sommaire est apparent.
66		Croquis de plan, à mettre en relation avec 1030FSG/63 montrant probablement les premières loges avec des séparations nettes entre les loges.
67	Plan des premières loges	Plan montrant l'organisation des premières loges, sans les bancs. Les croquis de construction sont encore visibles. On aperçoit en croquis une proposition de séparation entre les différents loges. Le plan des escaliers est également esquissé.
68	Plan du parquet	Plan montrant le premier étage du bâtiment avec quelques esquisses montrant les escaliers. On distingue une proposition d'entrée en demi-cercle sur la rue pour le rez-de-chaussée.
69		Plan montrant une version préliminaire de l'organisation des deuxièmes loges, reconnaissable à l'escalier d'accès dans l'angle de la salle.
70	[…] des feux, châssis et rideaux	Coupe longitudinale de la scène, montrant les différents châssis des décors latéraux, la machinerie pour les ciels et celle permettant de faire descendre les feux de la rampe.
71	Plan pour les feux, châssis, fermes et rideaux	Plan de la scène montrant la position des différents châssis et du fond de scène. L'éclairage de la rampe est détaillé.
72		Croquis de plan pour les premières loges, montrant notamment une esquisse d'escalier monumental permettant d'y accéder.
73	Appui des loges	Dessin au lavis montrant le détail de l'ornementation du garde-corps des premières loges. Le dessin montre des anges soulevant et portant des draperies.

Table 11. Liste des planches composant la liasse étudiée pour la restitution du projet FSG-APD.

Cet inventaire montre que la documentation sur la version finale de ce projet est complète : on possède en effet des plans de tous les niveaux, du sous-sol aux deuxièmes loges, plusieurs coupes transversales et même des éléments de détails sur la scène et les décors (*Fig. 157*).

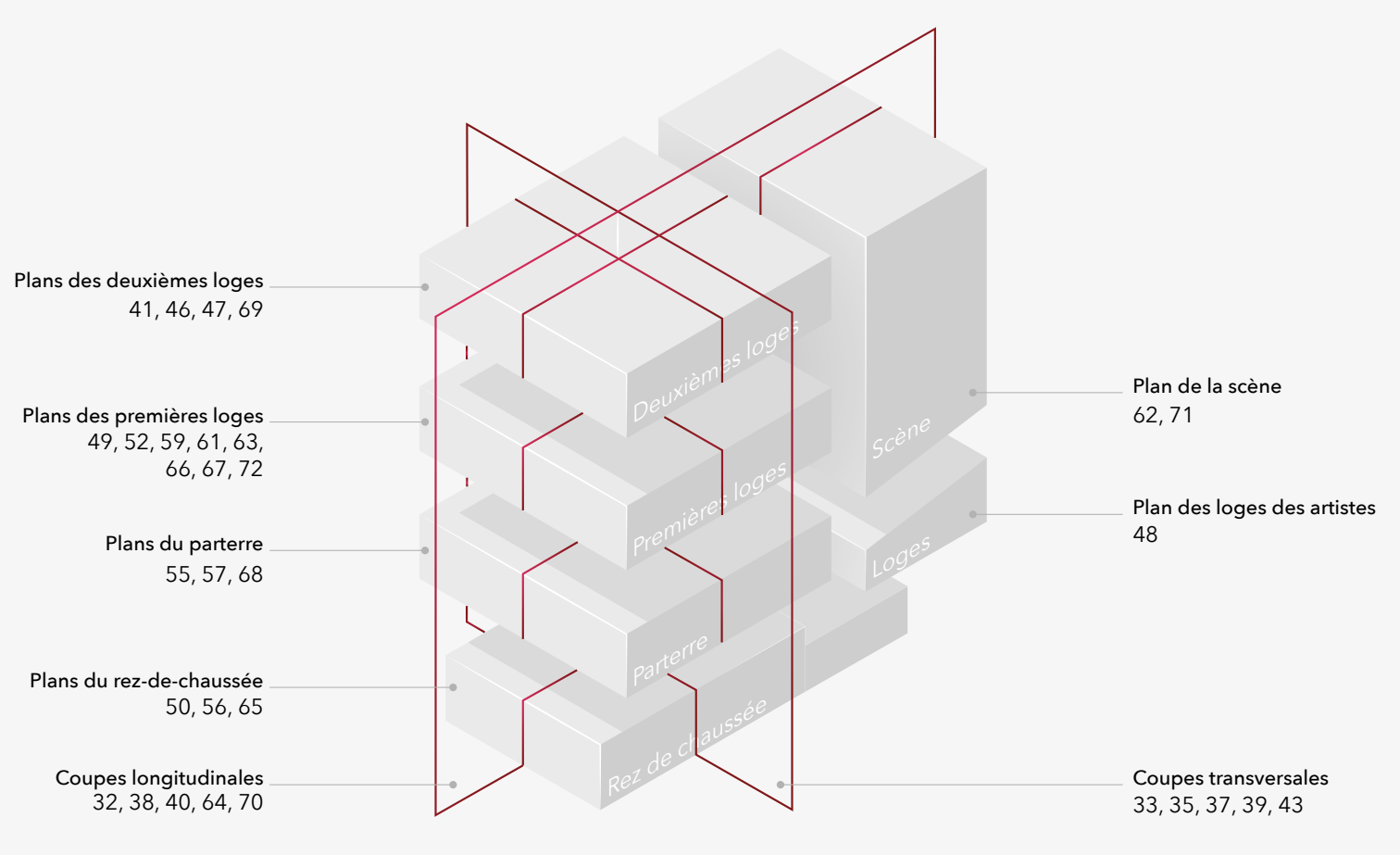


Fig. 157. Schéma de positionnement des principaux plans et coupes du projet FSG-APD. Les numéros renvoient aux planches.

Principes de modélisation

L'ensemble des plans du théâtre représente un concept en cours d'aboutissement, pour lequel certains détails techniques ne sont pas réglés. La question de la matérialité, par exemple, est relativement absente de ces représentations : si l'on devine que la structure principale est une ossature en bois, les remplissages de cette ossature ne font l'objet d'aucun détail. De même, les finitions de la plupart des surfaces ne sont pas évoquées par ces plans : garde-corps, plafonds et cadre de scène sont l'exception notables puisque Cellerier y a fait des propositions concrètes de décoration. Enfin, mis à part la position des bancs, il n'y a aucune trace de mobilier (d'éclairage notamment) qui permettrait de se faire une idée de l'intérieur des espaces comme le café au rez-de-chaussée, ou les loges dans l'étage intermédiaire sous la scène.

Nous avons donc cherché un modèle de représentation qui permette de rendre compte du niveau de détail de ces plans, et des précisions de décoration apportées par l'architecte. D'une part, la maquette virtuelle ne contient que ce qui est explicitement dessiné par l'architecte, ou sur lequel il insiste par la multiplicité des représentations, et pour lequel nous n'avions que peu de doutes concernant la représentation : les planchers n'ont donc pas été représentés afin de permettre de visualiser la structure envisagée, et les bancs (dont le détail de la forme nous est inconnu) n'ont pas non plus été modélisés. D'autre part, l'ensemble est représenté avec une texture blanche, qui rappelle celle utilisée par les maquettes d'étude des architectes, visant à étudier la volumétrie d'un projet. Cependant, pour rendre compte des projets de décoration proposés par l'architecte dans ses plans, nous avons entrepris de représenter ces éléments comme s'ils avaient été découpés sur ces croquis et collés sur la maquette.

L'ensemble ainsi produit permet de visualiser le projet avec un niveau d'abstraction qui correspond à celui des plans (*Fig. 158*). À ce stade, les interprétations que

nous avons entreprises pour réaliser ce modèle sont faibles. Elles ne sont pourtant pas inexistantes.

Difficultés de modélisation et incohérences

Bien que l'ensemble des plans concerne un projet dont la cohérence globale ne fasse aucun doute, il regroupe cependant des documents décrivant plusieurs états de réflexion. Par exemple, deux représentations différentes du plafond existent : la première (dans l'ordre des Archives Nationales) fait apparaître une peinture sur l'ensemble de la surface, tandis que la seconde représente une peinture réduite à un espace ovale au milieu du plafond. Nous avons choisi cette seconde représentation (visible sur 1030FSG/44) parce que des indices de son tracé existent sur d'autres documents du même jeu de plans (1030FSG/60, par exemple), mais il est possible que l'architecte ait d'abord envisagé ce plafond avant de changer d'avis et d'opter pour la première représentation (visible sur 1030FSG/34).

Du point de vue de la structure, le projet tel que représenté sur les plans possède quelques incohérences voire faiblesses structurelles. Globalement, la structure imaginée par l'architecte consiste en la répétition sur la longueur de la salle d'un même cadre structurel qui assure la descente des charges depuis le sommet du bâtiment jusqu'aux fondations. Ce principe de descente des charges est essentiel dans toute construction et interdit notamment, par exemple, de placer une colonne ou un pilier dans un étage sans qu'une autre colonne ou un autre pilier soit présent à l'étage inférieur. Or, c'est précisément ce qui se passe en plusieurs endroits de la proposition de Cellerier. Dans la salle elle-même, d'abord, l'architecte propose pour soutenir l'encorbellement des premières et deuxièmes loges sur le parterre de placer, entre les poteaux des cadres structurants, d'autres poteaux. Les plans conservés montrent une certaine hésitation à faire remonter ces poteaux jusqu'au plafond (ils sont raturés sur plusieurs plans du plafond, par exemple, mais n'apparaissent pas sur les coupes longitudinales), en revanche les faire descendre jusqu'au rez-de-chaussée et aux fondation n'a semble-t-il jamais été imaginé dans ces plans. Les plans de structure du plancher du premier étage ne montrent quant à eux aucun renforcement à l'emplacement de ces poteaux qui aurait pu permettre une reprise de ces charges. Dans le projet tel quel représenté, les premières et deuxièmes loges s'appuient sur des poteaux non soutenus, des éléments poinçonnants qui seraient à même de causer la rupture du plancher du parterre. Le même problème apparaît également pour la structure du cadre de scène dont une partie n'est pas supportée au rez-de-chaussée. Nul doute qu'une éventuelle construction, en faisant appel à des maîtres d'œuvre et ouvriers qualifiés aurait permis d'éviter de telles erreurs structurelles, qui sont en outre beaucoup plus faciles à mettre en évidence grâce à une maquette tridimensionnelle que sur des plans.

L'intérêt de la modélisation tridimensionnelle est également de pouvoir mieux appréhender les différences d'altitude et de hauteur entre différents éléments de plans. La salle conçue par Cellerier propose en effet plusieurs pentes différentes (salle du parterre, des loges) et de nombreuses différences de niveaux. Non seulement les étages sont à des niveaux différents avec la présence d'un demi-niveau sous la scène (entre le rez-de-chaussée et le premier étage), mais au sein d'un même étage plusieurs niveaux existent. Au niveau du parterre par exemple, si la partie centrale est en pente vers la scène, les parties latérales sont toujours horizontales. Il en résulte de nombreuses difficultés d'accès qui rendent parfois les solutions évoquées par l'architecte particulièrement impraticables. L'escalier principal, qui permet d'accéder au premier étage depuis l'entrée est assez symptomatique de cela : alors qu'il se veut symétrique en permettant de monter indépendamment en empruntant la volée allant vers la droite ou celle allant vers la gauche, les plans montrent que celle allant vers la droite est beaucoup plus courte. Cela implique en réalité que la volée droite doit présenter

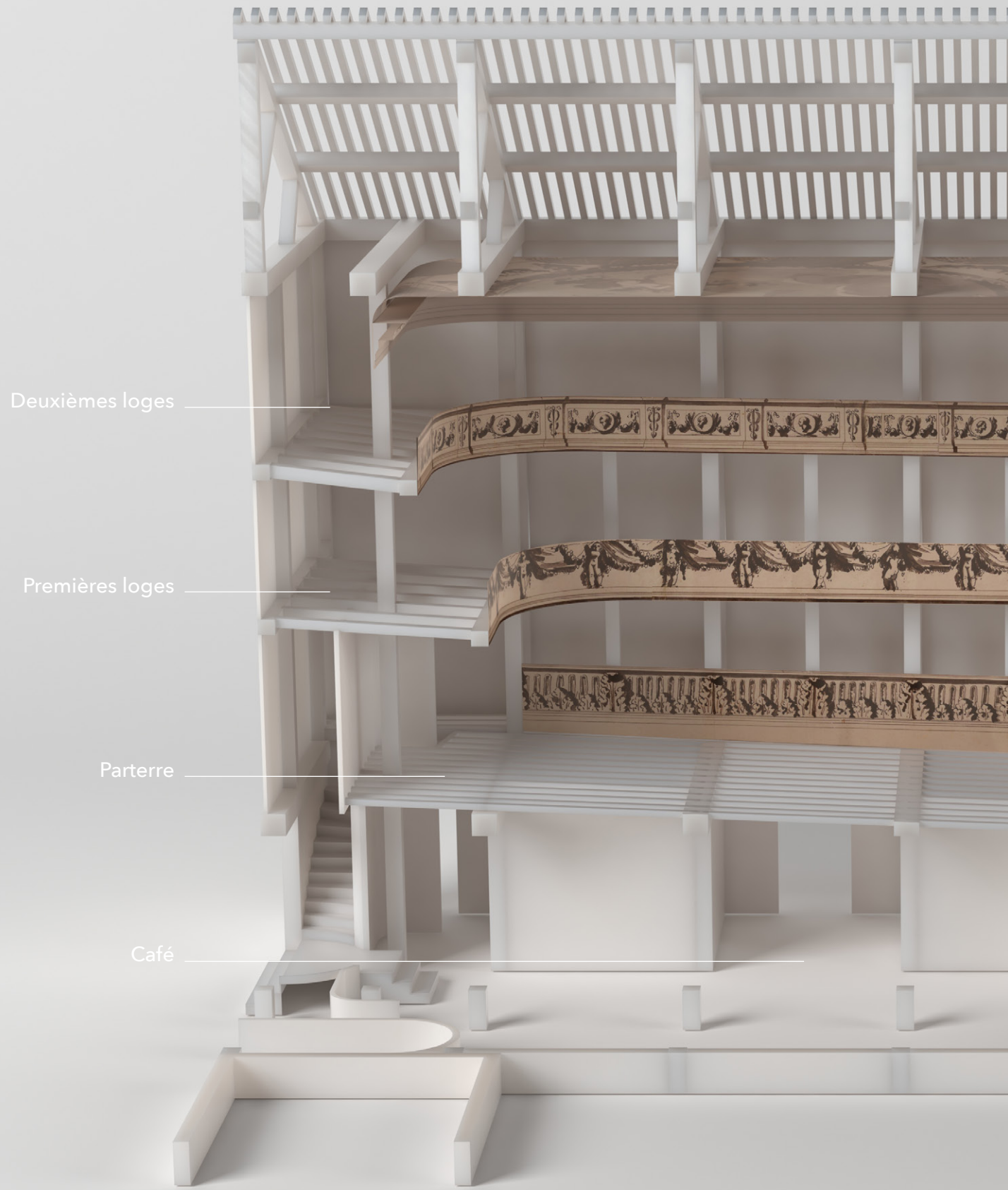

Deuxièmes loges
Premières loges
Parterre
Café

Fig. 158. Vue de la maquette numérique structurelle, en coupe longitudinale, du projet de théâtre pour la Foire Saint-Germain de 1772.

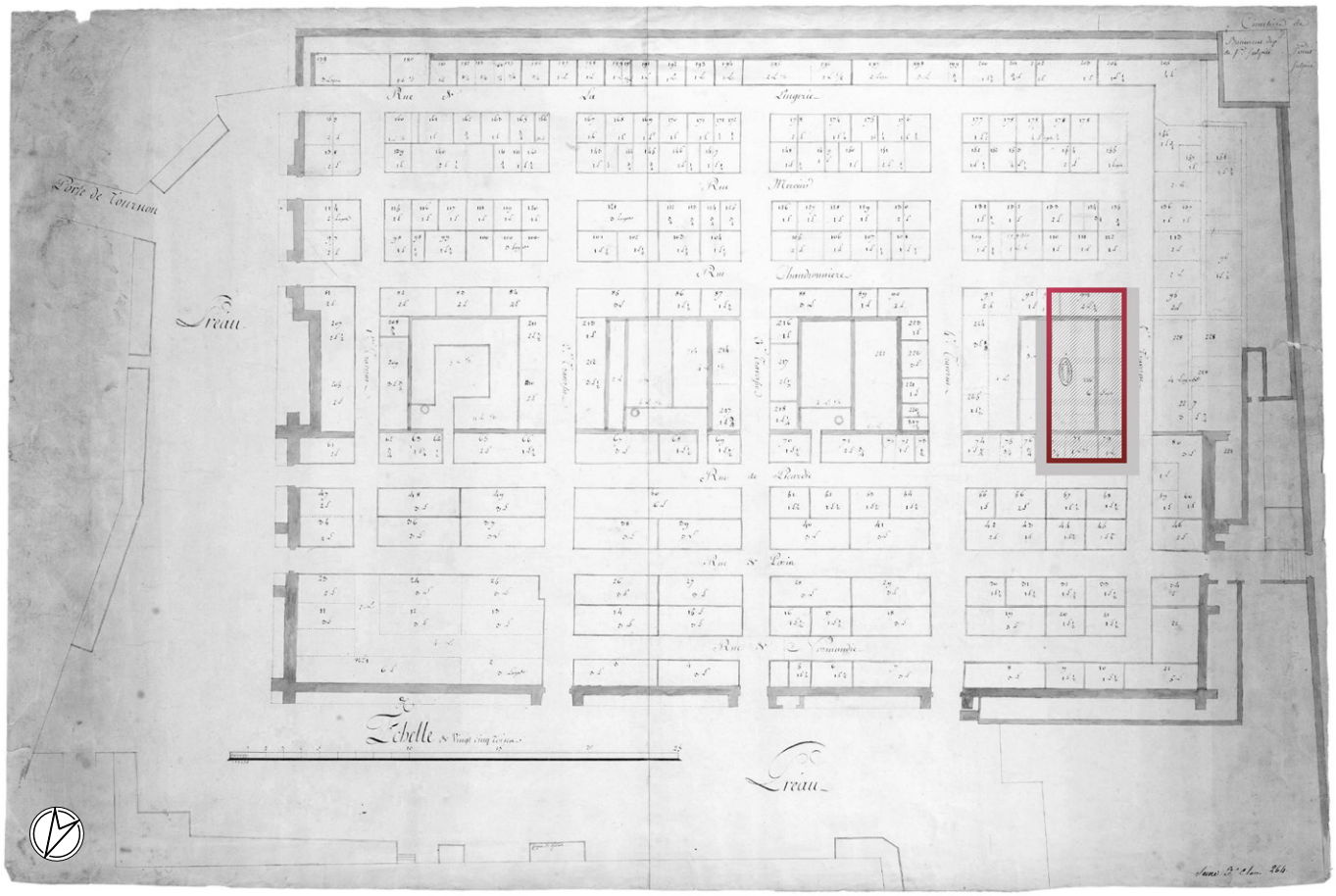


Fig. 159. Situation du projet FSG-APD, montrant son emprise au sol et ses encorbellement sur la rue, sur le plan de la Foire Saint-Germain. Le nord est en bas.

des marches beaucoup plus hautes ou beaucoup moins profondes pour permettre d'accéder à la même hauteur. La raideur de l'escalier devient alors particulièrement impraticable surtout s'il s'agit de faire circuler un grand nombre de spectateurs entrant et sortant de la salle rapidement. Les plans représentent également plusieurs escaliers assurant l'accès du parterre à la scène en passant par les coulisses : leur modélisation impose la création d'une porte entre ces deux espaces. Or, celle-ci est contrainte par les différences de niveau qui lui imposent une hauteur de 80 centimètres, donc particulièrement impraticable.

La hauteur de la salle présente également quelques incohérences entre les différentes coupes. Les coupes 1030FSG/39 et 40 ne ménagent pas suffisamment d'espace entre le haut du cadre de scène et la sous-face des poutres maîtresses de la charpente pour permettre d'y installer la corniche de la salle et le plafond qui sont figurés sur d'autres coupes (1030FSG/32, par exemple). Ce type d'incohérence traduit évidemment le processus de réalisation de ce projet, dans lequel les décors sont imaginés ensuite, plus qu'une supposée incapacité de l'architecte à visualiser et prévoir ce type de conflits.

Quelle a été notre attitude face à ces incohérences ? Dans la plupart des cas, nous avons tenté de respecter la majorité des plans. Nous n'avons pas, par exemple, fait continuer les poteaux soutenant les loges jusqu'au rez-de-chaussée, d'autant que cela aurait condamné toutes les portes permettant d'accéder aux boutiques. En revanche, la modélisation en trois dimensions de cette partie de la maquette fait apparaître le manque de poutres dans le sens de la longueur pour régler des problèmes d'intersections de surfaces : nous les avons modélisées et elles peuvent servir à reprendre la descente de charge de ces poteaux. Concernant les différences de hauteur, nous avons fait le choix de surélever le plafond afin de permettre l'installation de la corniche et du plafond qui apparaissent très détaillés sur de nombreux plans et coupes

et sont donc importants pour l'architecte. Il convient également de préciser que nombre d'incohérences ou d'oublis dans ces plans révèlent simplement des évidences pour l'architecte, qui ne le sont plus nécessairement pour nous, ou pour les ouvriers qualifiés qui auraient pu remédier naturellement aux incohérences.

Interprétation à partir de la maquette virtuelle

À partir de la maquette virtuelle, et d'une lecture attentive des plans, nous pouvons nous livrer à une interprétation de ce projet de manière plus simple et ainsi compléter les observations préliminaires que nous avions réalisées précédemment.

Implantation et morphologie générale

Le projet est situé à l'intérieur de l'enclos de la Foire Saint-Germain, et plus précisément dans l'espace délimité par les anciennes halles qui, à partir de 1762, ont été détruites. Il est encadré à l'ouest par la cinquième traverse, au sud par la rue Chaudronnière (ou rue de la Chaudronnerie), au nord par la rue de Picardie et à l'est par la quatrième cour de la Foire. Le projet recouvre les loges numérotées 77, 78, 79, 94 et 226[41]. L'ensemble de ces parcelles permet une implantation au sol d'environ 9 m de large et 19 m de long. L'étage est quant à lui construit avec un encorbellement de 4 pieds (environ 1,2 m) sur la rue de Picardie et de 4 pieds et 6 pouces (environ 1,35) sur la cinquième traverse et la cour. Il semble que la loge 93 (au sud-est de l'emprise) ait imposé une servitude au-dessus de son emplacement puisque l'encorbellement à l'est ne la surplombe pas.

De nombreux accès sont répartis autour du bâtiment. La porte principale du théâtre et du café s'ouvre au centre de la façade sud, dans la rue Chaudronnière, on y accède par deux marches couvertes semble-t-il par un petit portique. Sur cette même façade, une seconde porte, dédiée exclusivement à l'accès aux deuxièmes loges s'ouvre à l'est, tandis que de part et d'autre de l'entrée principale s'ouvrent des guichets permettant la vente des billets. Ils correspondent, à l'intérieur, à l'espace laissé vacant sous les escaliers permettant l'accès au parterre. Six portes s'ouvrent à l'ouest sur la cinquième traverse : quatre d'entre elles permettent d'accéder à des loges commerciales, une permet l'accès à un magasin de stockage et la dernière permet l'accès au café. Quatre portes s'ouvrent au nord et desservent trois loges (celle la plus à l'est étant desservie par deux portes). Enfin, trois accès débouchent à l'est sur la cour : le plus au nord permet d'accéder par un escalier aux loges des artistes à l'étage, le second permet l'accès au laboratoire du café, et le troisième permet de descendre à la cave.

Au-dessus de cette emprise au sol s'élève un bâtiment de quatre niveaux (un rez-de-chaussée et trois étages) surmonté par un toit à deux pans dans le sens de la longueur du bâtiment (dans l'axe nord-sud, donc). Cela porte la hauteur de l'ensemble à 15 m, s'inscrivant dans un pavé d'environ 20 m de long et 12 m de large. Les rues de la Foire Saint-Germain ayant une largeur de 9 pieds (2,7 m environ), et puisque le projet vient en encorbellement sur elles, le projet aurait donc particulièrement assombri les rues environnantes.

Organisation intérieure et jauge

Le rez-de-chaussée du bâtiment se compose, on l'a vu, de six boutiques, un magasin de stockage, un café qui occupe la majeure partie de l'emprise au sol avec son laboratoire et un espace de service. L'organisation du café n'est pas détaillée dans ces plans, mais il faut y voir une activité fortement liée à celle du théâtre dont il sert de buvette et avec lequel il partage l'entrée principale[42]. Celle-ci est en effet configurée

41 Ces numéros peuvent être consultés à la fois sur le plan des Archives Nationales N/III/Seine/264/2 et sur les plans de la BHVP.

42 Dans Rabreau 2008, Daniel Rabreau rappelle le lien indispensable qui unit les spectacles au commerce en prenant

de manière à ce qu'en entrant le visiteur ait le choix entre continuer tout droit pour accéder au café ou monter à droite et à gauche dans la salle de spectacle.

À l'étage, auquel on accède uniquement par l'escalier principal, s'étend le parterre entièrement assis. Il est divisé en deux zones, la première s'étend en face de la scène sur un sol en pente légère tandis que la seconde s'installe symétriquement, et perpendiculairement à la scène, devant les murs latéraux de la salle sur un sol plat. Les plans font apparaître des rangées de bancs sur l'ensemble de ces surfaces mais si les spectateurs de la première zone faisaient bien face à la scène, ceux de la deuxième sont orientés vers le centre de la salle : les spectateurs devaient donc se tourner pour observer la scène. À cet étage, il était possible d'asseoir jusqu'à 290 spectateurs[43].

En prenant l'escalier placé au sud-ouest du premier étage, on peut accéder aux premières loges. Celles-ci forment un U arrondi et ouvert, le sol de l'étage étant en pente vers la scène. Il n'y a aucune séparation verticale qui pourrait former des loges proprement dites si bien que les bancs semblent eux-mêmes épouser la forme en U de l'ensemble. On accède aux loges situées dans le cadre de scène depuis cet étage, en traversant tout la longueur de la salle. Les bancs tels que représentés permettent d'asseoir à ce niveau 160 spectateurs.

Enfin, il n'est possible d'accéder aux deuxièmes loges que par un escalier en colimaçon, peu large, débouchant directement dans la rue Chaudronnière. C'est donc un accès moins prestigieux qui semble trahir une classe sociale plus faible des spectateurs des deuxièmes loges. Celles-ci reprennent la même organisation que les premières loges, simplement la suppression des circulations verticales permet à l'architecte de placer un amphithéâtre allant jusqu'au fond de la salle. Il était donc possible d'asseoir, dans cette configuration, 210 spectateurs à cet étage.

L'ensemble du théâtre aurait donc pu contenir près de 660 spectateurs.

Du côté de la scène, le plafond surbaissé du rez-de-chaussée au nord de la parcelle permet d'implanter, sous la scène, un niveau supplémentaire. Cet entresol ou demi-niveau, a une hauteur réduite à 1,6 m au plus bas et sert à installer les loges des artistes. Celles ci se composent de six petites loges et d'une autre beaucoup plus grande, réparties en deux îlots autour desquels il était possible de circuler. Il devait être possible de gagner la salle depuis ce niveau grâce à deux petits escaliers menant chacun à une porte dont nous avons déjà relevé l'exigüité. Pour gagner la scène, les acteurs devaient emprunter un escalier situé au nord-est de la salle (au fond, côté jardin), il permettait aux acteurs d'arriver sur scène derrière le décor de fond de scène mais son emplacement devait cependant empêcher un passage du côté cour au côté jardin (sous peine de tomber dans la trémie de l'escalier).

Machineries

Le XVIII[e] siècle a vu se développer de nombreuses machineries permettant différents effets lors de la représentation : jaillissement de divinité, effets de houle, changement de décors à vue en synchronisé sont autant de mécanismes détaillés dans les planches de l'*Encyclopédie* de Diderot. Les plans de Cellerier sont quant à eux beaucoup moins prolixes concernant d'éventuelles machineries dans ce théâtre. Tout au plus apparaît sur les plans un axe permettent, semble-t-il, de faire bouger les ciels (donc la partie du décor au-dessus de la scène) de manière simultanée. Une telle machinerie est traditionnellement doublée de sa contrepartie sous la salle qui autorise le déplacement simultané des châssis de décors latéraux. Or, non seulement

notamment l'exemple du théâtre de Lyon conçu par Soufflot et construit entre 1753 et 1756. L'architecte y a imaginé une véritable galerie marchande (p. 46-47) et la salle de Lyon était également liée à une ambitieuse opération de lotissement, qui illustre à la fois les besoins commerciaux permettant de financer le théâtre, mais également la nécessité de produire un environnement propice à la venue des spectateurs.

43 Pour obtenir ce résultat, nous avons divisé la longueur de chaque banc par une largeur de corps humain de quarante-cinq centimètres, correspondant à des spectateurs densément assis selon les normes du XXI[e] siècle. Il est donc probable que la jauge totale soit supérieure à ce nombre, en raison d'une densité plus élevée dans les standards du XVIII[e] siècle.

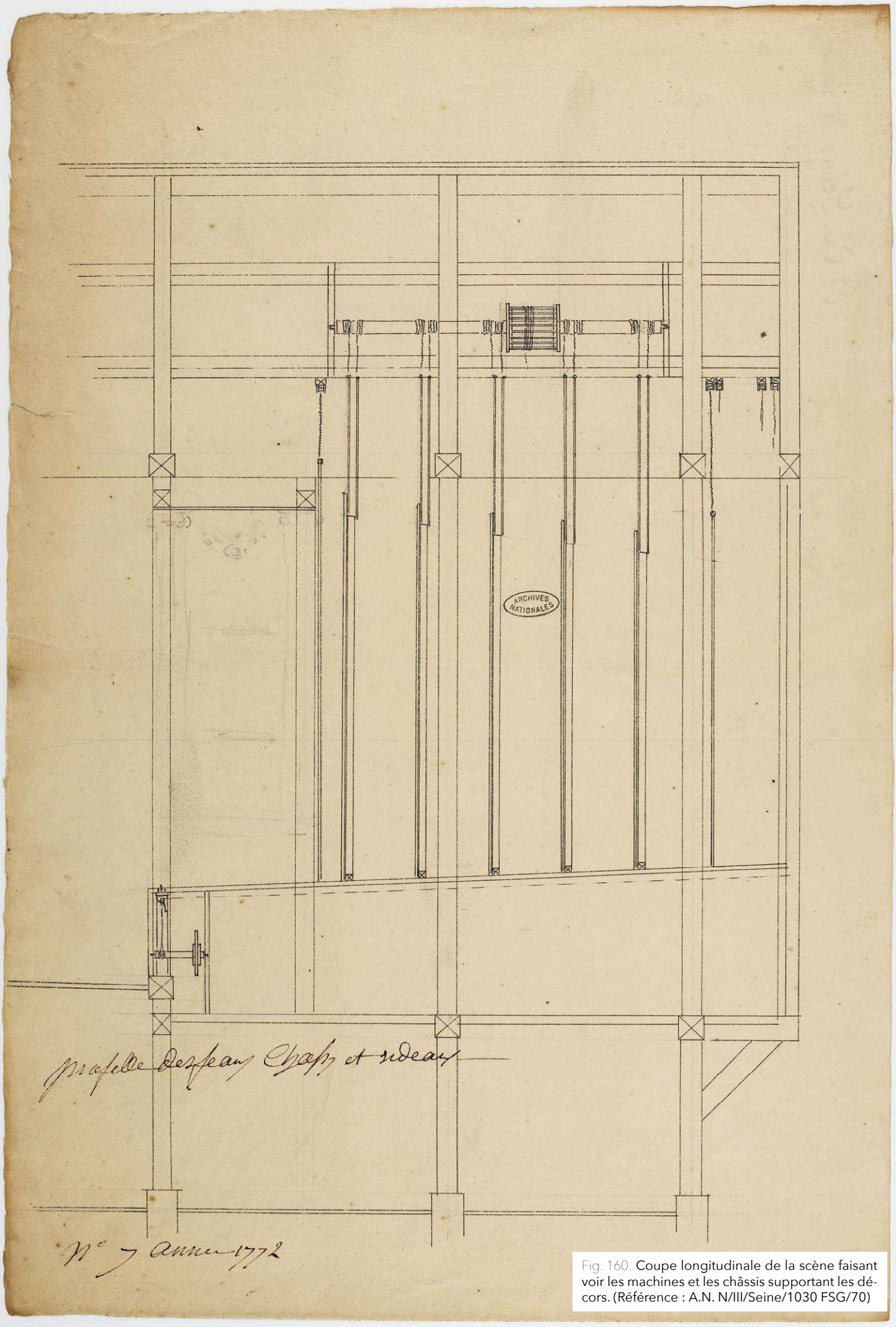


Fig. 160. Coupe longitudinale de la scène faisant voir les machines et les châssis supportant les décors. (Référence : A.N. N/III/Seine/1030 FSG/70)

cette partie n'apparaît pas sur les plans, mais la présence dans les dessous de scène des loges des artistes interdit ce type de technique.

La coupe 1030FSG/70 fait apparaître en outre un élément de machinerie permettant de faire descendre les feux de la rampe, qui servent à illuminer les acteurs depuis l'avant-scène (*Fig. 160*). Cet élément devait permettre non seulement de changer les chandelles en cours de représentation, mais également de moduler la puissance lumineuse de la rampe[44].

Le fait que le théâtre soit amputé d'une partie des dispositifs scéniques des théâtres de plus grande dimension tient d'abord, effectivement, à sa dimension physique. Il n'est pas possible, par exemple, dans la dimension de la cage de scène de ce projet, de soulever entièrement les décors ce qu'autorise, à titre de comparaison, la salle de la Comédie-Française à l'époque, avec une cage de scène dont la hauteur était au moins le double de celle du cadre de scène.

Visite immersive

Une fois la modélisation réalisée, la prochaine étape du cycle de la rétro-architecture consiste à faire visiter le modèle ainsi créé, en immersion en réalité virtuelle, à des experts. Pour cela, nous avons eu recours aux mêmes techniques et au même protocole que pour le théâtre de marionnettes (voir chapitre V). Nous avons toutefois, en raison de la complexité plus grande du projet, imaginé deux moyens distincts de visite de ce théâtre : la consultation d'une maquette au un-dixième du théâtre et la visite à taille réelle de ce même théâtre. Après avoir présenté les particularités de ces deux modes de consultation, nous présenterons les retours formulés par les experts.

Conception des espaces en réalité virtuelle

La maquette à échelle réduite

Puisque le théâtre modélisé est un modèle complexe dont l'imbrication des volumes, des étages et l'encorbellement sur l'extérieur ne peut être aisément compris depuis l'intérieur même de la salle, il nous a semblé intéressant de permettre à l'utilisateur de prendre un certain recul sur ce modèle. Dès lors, nous avons imaginé de visualiser ce modèle comme on visualiserait une maquette de théâtre dans la réalité : sous forme de modèle réduit. L'utilisateur visualiserait donc le projet de Cellerier sous la forme d'une maquette au un-dixième, suffisamment grande pour pouvoir figurer de nombreux détails, et suffisamment petite pour pouvoir en faire le tour facilement et percevoir d'un regard la complexité de sa forme.

Dans la réalité, la réalisation d'une telle maquette aurait nécessité d'en faire la coupe, afin que l'on puisse visualiser simultanément l'extérieur d'un côté de la maquette et l'intérieur de l'autre. La réalité virtuelle nous autorise cependant à ne pas couper cette maquette, l'utilisateur pouvant à l'envi plonger sa tête à l'intérieur et ainsi percevoir l'espace interne. En effet, en réalité virtuelle les murs peuvent être traversés.

Pour cette première manière de visualiser ce projet, nous avons créé un espace virtuel pour mettre en valeur la maquette (*Fig. 161*). Il consiste en une table sur laquelle est posée la maquette, permettant de la voir à un niveau convenable. Elle autorise également à en faire le tour. L'espace virtuel ainsi créé, bien que clos mais à ciel ouvert, est suffisamment grand pour prendre du recul sur l'objet posé sur la table. De plus, cet objet est à l'abri de la lumière directe et nous pensons avoir recréé en réalité virtuelle un espace permettant l'observation de la maquette dans les

44 Clarke 2017 suggère que cet usage de descendre les feux de la rampe pour en moduler la puissance était déjà présent au xvii[e] siècle.

Fig. 161. **Espace de visualisation de la maquette à l'échelle 1:10 en réalité virtuelle.**

meilleures conditions. En passant derrière un mur, en marchant ou en utilisant la téléportation, on peut accéder à la maquette à l'échelle 1.

Le projet de théâtre à l'échelle 1

Pour la maquette à l'échelle 1 du théâtre, nous n'avons pas réalisé d'environnement à proprement parler. Le bâtiment, blanc et dans le niveau de détail dont nous avons discuté précédemment, apparaît donc directement face à l'utilisateur, celui-ci regardant vers l'entrée principale. L'utilisateur peut se déplacer librement en marchant ou en utilisant la téléportation sur l'ensemble du rez-de-chaussée, permettant de découvrir toutes les pièces qui composent celui-ci.

Nous avons créé des espaces de téléportation sur chacun des étages (loges des artistes, scène, parterre, premières et deuxièmes loges) permettant aux utilisateurs de s'y déplacer afin d'adopter les points de vue des spectateurs ou des acteurs. Néanmoins, l'utilisation de la téléportation apparaît rapidement comme délicat dans un espace clos avec d'importantes différentes de niveau. Prenons le cas des escaliers permettant d'accéder au premier étage depuis l'entrée principale. Ceux-ci présentent une forme en « L », de telle sorte qu'il n'est pas possible de voir l'étage depuis le rez-de-chaussée… et donc impossible de viser cet étage pour se téléporter. Évidemment, en réalité virtuelle, il n'est pas non plus possible de monter les marches. L'utilisateur doit donc viser au travers des murs, ce qui n'est pas naturel, pour tenter de se téléporter dans un lieu qu'il ne voit pas.

Une solution à cette problématique serait de faire apparaître des points de téléportation spécifiques, indiquant qu'ils emmènent l'utilisateur dans un étage donné. Typiquement, ces points pourraient être placés dans les escaliers. Cette limitation des déplacements en réalité virtuelle a peu d'impact, elle implique néanmoins qu'il n'est pas possible avec ce dispositif, d'étudier la séquence visuelle d'entrée dans la salle de théâtre depuis les escaliers avec un casque de réalité virtuelle.

Retours des experts

Nous avons principalement fait visiter cet espace virtuel à trois expertes : Sandrine Dubouilh, architecte spécialiste des lieux de spectacles à travers l'histoire, Pauline Beaucé, maître de conférences en études théâtrales, et Françoise Rubellin, professeur de littérature. Notons avant toute chose que toutes les trois ont exprimé des difficultés à comprendre l'organisation globale du théâtre, et notamment le chemin typique emprunté par un spectateur. La maquette blanche a pour effet de rendre certains détails difficiles à percevoir et nous la trouvons par ailleurs intimidante à l'échelle 1. De plus, c'est aussi les effets de foule ou la présence d'un vendeur à un guichet qui permettent de comprendre le fonctionnement d'une structure, autant d'indices visuels qui ne sont pas présents pour l'instant dans cette visite immersive du théâtre.

Sandrine Dubouilh et Pauline Beaucé ont particulièrement insisté dans leurs retours sur la hauteur de la scène. Il semblait à ces deux expertes que celle-ci s'accordait plutôt avec un parterre debout (comme c'était la norme dans la première moitié du XVIII^e siècle, et jusqu'en 1782 à la Comédie-Française). En asseyant les experts sur une chaise (réelle) à l'endroit des bancs (virtuels) du parterre, nous avons pu tester la vision des spectateurs dans ce théâtre, à différents rangs. De très près, dans l'orchestre, les places assises présentent en effet une vue inconfortable sur la scène. Mais à partir du troisième rang, la vue est plus confortable et il semble donc que la hauteur de la scène puisse s'accorder avec des spectateurs assis.

Françoise Rubellin s'est quant à elle interrogée sur la possibilité de faire surgir des décors depuis la scène. Il s'agit en effet d'un procédé spectaculaire utilisé dans de nombreuses pièces du XVIII^e siècle et que la présence des loges des artistes sous la scène interdit. La même remarque a été faite par Pauline Beaucé, à qui cela a évoqué les pièces pour Audinot jouées au début des années 1770. Il s'agissait vraisemblablement de pièces pour marionnettes dans un premier temps, puis jouées par des enfants, et qui auraient donc pu se contenter d'une scène plus simple, sans dessous[45].

La présence de textures a-t-elle une influence sur l'usage de la maquette virtuelle en immersion ? Si nous avons évoqué le côté intimidant de la maquette blanche à l'échelle 1, le manque de texture ne semble pourtant pas gêner l'interprétation ou les utilisateurs à l'intérieur. On le voit, les retours concernaient principalement des problématiques spatiales, relatives à l'organisation des différents éléments du théâtre, sur lesquelles ce type de maquette volumétrique invite effectivement à réfléchir. Françoise Rubellin, par exemple, se dit « beaucoup plus impressionnée[46] » par l'immersion dans la maquette de ce projet que par l'immersion dans le théâtre de marionnettes, alors que la seconde était à ce moment beaucoup plus réaliste. Cela plaide en faveur de la démarche cyclique que nous avons mise en place, qui permet donc de s'attarder dans un premier temps aux volumes sans textures avant de réaliser le détail des éclairages, des couleurs et des textures sur le modèle. Cette seconde étape venant ensuite focaliser l'attention sur ces informations au détriment, peut-être, de l'organisation spatiale globale.

L'immersion en réalité virtuelle dans et autour de cette maquette en a validé l'organisation générale et la restitution que nous en avons faite. Dès lors, il nous était possible d'aller plus loin dans la restitution et de dépasser, en quelque sorte, les informations contenues dans les plans.

45 Remarquons toutefois que les plans du projet de Cellerier pour l'Ambigu Comique en 1769 (BT-PRO2, dans notre nomenclature) font apparaître une coupe de la scène montrant clairement le mécanisme des dessous (A. N. N/III/Seine/1030/21), et permettant de faire des changements de décors à vue.

Il s'agirait donc possiblement d'une simplification du dispositif scénique pour la Foire Saint-Germain. Les pièces qu'Audinot souhaitait y faire jouer étaient peut-être différentes de celles du Boulevard du Temple, ou leur scénographie simplifiée pour l'occasion.

46 Citation issue de l'enregistrement audio réalisé lors de l'immersion en réalité virtuelle dans cette maquette.

Modélisation des décors et des ambiances

L'organisation générale de la maquette ayant été validée par les experts, nous pouvons procéder à la prochaine itération du cycle de rétro-architecture. Il s'agit à présent de chercher à compléter ce modèle pour donner à l'intérieur de la salle l'aspect qu'il aurait pu avoir pour un visiteur assistant à un spectacle d'Audinot à la Foire Saint-Germain vers 1772. Nous ne chercherons donc pas à modéliser à cette itération du cycle les espaces du rez-de-chaussée ou les loges des artistes qui d'une part sont peu renseignés par les plans que nous possédons, et d'autre part ne participent pas directement à l'expérience vécue par l'utilisateur lors d'une représentation. Nous avons procédé par étapes pour compléter ce modèle : la première a consisté à modéliser l'ensemble des moulures (gardes-corps, corniches, cadre de scène, plafonds) qui sont suggérées dans les plans. La seconde nous a amené à nous interroger sur les couleurs et textures de ces éléments. Nous avons ensuite réalisé les éléments de décorations spécifiques, que les plans suggèrent peints, comme les médaillons, les garde-corps ou le plafond. Enfin, nous avons réalisé un décor sur la scène tel que suggéré par Cellerier.

Modèle complet non texturé

En partant du modèle précédent, il s'agissait à cette étape de remplacer, pour simplifier, l'ensemble des suggestions de décors de l'architecture que nous avions figurées comme découpées dans les planches, par leur représentation en volume. Les très nombreuses corniches et moulures qui ornent ces planches n'y sont toutefois que suggérées et si quelques coupes permettent d'en deviner leur profil il reste très peu précis. Nous avons donc entrepris de rapprocher ces croquis de Cellerier des moulures traditionnelles de l'architecture française et classique telles que décrites dans l'ouvrage *Architecture, description et vocabulaire méthodique*[47]. La principale difficulté ici a été de séparer les éléments qui auraient réellement été réalisés en trois dimensions de ceux qui auraient été peints en trompe-l'œil.

Sur les plans de Cellerier, la séparation entre les différentes zones du parterre est représentée comme un garde-corps présentant des moulures et un jeu de renfoncements verticaux que viennent partiellement recouvrir des grandes feuilles d'acanthe. Ce décor joue sur l'esthétique des garde-corps en pierre sur lequel on aurait pu imaginer un décor en volume représentant des feuilles (on voit très bien ce type de décor sur la balustrade des premières loges du théâtre du Petit Trianon à Versailles). Si une construction en volume d'un tel garde-corps était possible, il nous semble néanmoins devoir l'exclure dans ce type de théâtre et *a fortiori* pour un entrepreneur, Audinot, dont la fortune restait encore à faire au début des années 1770. Nous avons donc opté pour une modélisation hybride, ou le garde-corps présenterait des moulures, mais où le décor de feuilles d'acanthe et de renfoncements serait peint en trompe l'œil. Le même raisonnement a été suivi pour les balustrades des premières et deuxièmes loges.

Nous avons reconnu dans les croquis du cadre de scène des pilastres de l'ordre ionique, cannelés, disposés sur une base attique disposée sur un stylobate. À partir de ces informations, nous avons pu modéliser ce type de moulure de manière précise, en nous appuyant non pas sur la représentation schématique de Cellerier, mais sur les règles de l'architecture classique. À ce stade, la prise en compte de ces détails mène à de nouveaux conflits entre les représentations de l'architecte et le modèle tel que nous le concevons. Par exemple, pour respecter la représentation qui est faite du cadre de scène, nous devons concevoir un soubassement avec plinthe, qui bien, sûr,

47 Pérouse de Montclos 2011.

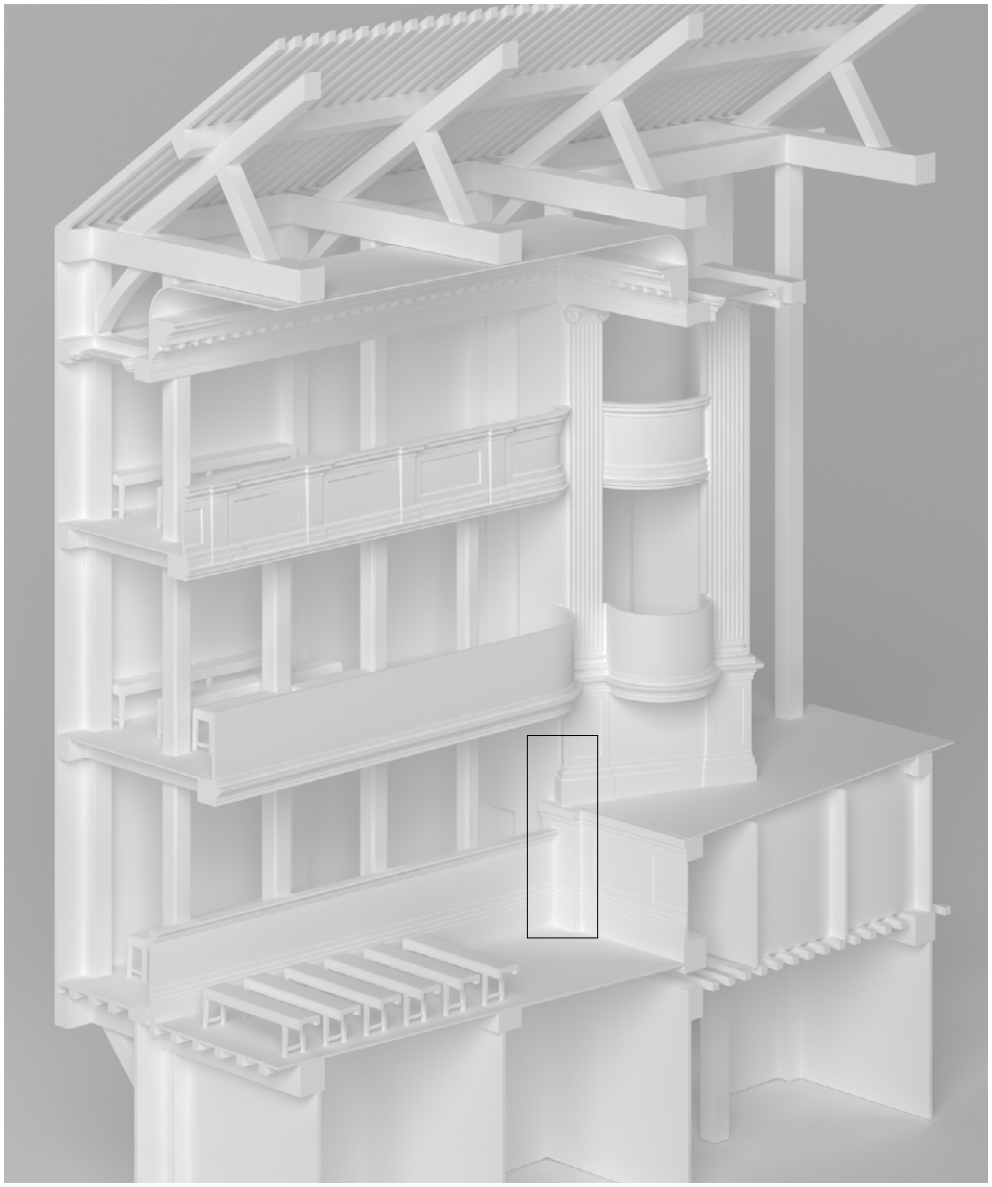


Fig. 162. Section de la maquette montrant la modélisation des moulures. Le problème dû au retournement du stylobate est encadré.

se retourne à chaque extrémité. Or, le concepteur dans ses dessins n'a pas intégré cet aspect : si nous modélisons cela, alors une partie de la plinthe se retrouve suspendue au-dessus du parterre (*Fig. 162*). De même, il n'y a aucun détail concernant la paroi s'étendant du sol du parterre jusqu'au bord de la scène ; nous avons donc entrepris de lier les deux problèmes et de faire prendre à cette paroi une forme qui lui permette de soutenir le retour du stylobate du cadre de scène. Encore une fois, il est probable que ce type de problème aurait pu être réglé directement sur le chantier, par des artisans qui connaissaient les méthodes habituelles de résolution de ce type de conflit de moulures.

À cette étape, nous avons également cherché à modéliser les bancs de ce théâtre. Pour cela, nous nous sommes inspiré des bancs du théâtre de la Reine au Petit Trianon de Versailles. La forme de la salle a nécessité la création de bancs courbes et de bancs avec des hauteurs différentes pour permettre aux spectateurs assis au fond des deuxièmes loges de visualiser la scène, comme indiqué sur les coupes.

Couleurs et textures d'un théâtre au XVIII^{e} siècle

Afin de pouvoir mettre de la couleur sur cette maquette blanche, il convient de s'intéresser aux standards de décoration qui sont à la mode en cette deuxième moitié

Fig. 163. Marbre de couleur Brèche Violette (source : atelierdellarte.eu).

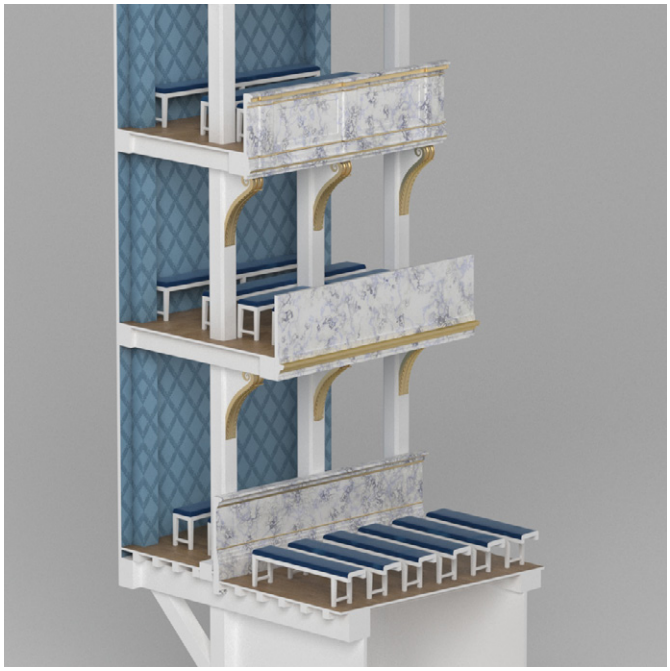


Fig. 164. Mise en place des textures sur le modèle : papier peint, marbre, ors et velours.

du XVIII^e siècle. Pour cela, nous pouvons nous appuyer sur le livre de Michèle Sajous D'Oria, *Bleu et Or*[48] qui traite justement de la décoration des salles de spectacle à cette époque. Contrairement aux salles de théâtre à l'italienne d'aujourd'hui, qui sont principalement à dominante rouge et or, les salles du XVIII^e siècle font un usage majoritaire de la couleur bleue accompagnée de dorures. De nombreuses surfaces sont également peintes pour ressembler à un marbre particulier, dit Brèche Violette, dont les tons des marbrures varient du bleu au violet en passant par certaines nuances de rose, sur un fond crème (*Fig. 163*).

Nous avons donc attribué à la plupart des moulures une texture paramétrique reprenant les couleurs du marbre brèche violette. Le cadre de scène par exemple, avec son architecture d'inspiration classique, se prête particulièrement à l'imitation d'une architecture de marbre. De même, ce matériau a été affecté aux balustrades des premières et deuxièmes loges ainsi qu'à la corniche du plafond. Nous avons également souligné les filets des moulures d'une texture imitant la dorure à la feuille, également courante dans les intérieurs de théâtre au XVIII^e siècle. L'usage de cette dorure a néanmoins été réduit au strict minimum, ce matériau coûteux devait en effet être utilisé avec parcimonie dans ce type de théâtre.

Enfin, pour la couleur des murs, nous avons réalisé une texture rappelant les papiers peints du XVIII^e siècle, et notamment celui du théâtre de la Reine au Petit Trianon. Celui-ci forme un décor de losanges créés par l'entrecroisement de guirlandes florales. Pour sa réalisation, nous avons recherché sur Gallica des motifs floraux de ce siècle et avons réalisé l'entrelacement caractéristique en losanges. La couleur choisie varie d'un bleu pâle à un bleu profond selon l'angle de vision, qui lui donne l'aspect d'un velours (*Fig. 164*). Une texture imitant la surface du velours a également été utilisée pour recouvrir l'assise des bancs : nous avons utilisé du bleu pour ces bancs et ce bien que les plans montrent les bancs comme verts. Il s'agit selon nous d'une convention de représentation de l'architecte et non de la couleur réelle de ces assises.

Outre les textures de plancher assignées à ceux-ci, nous avons utilisé des textures de bois paramétriques sur l'ensemble des éléments de structure que nous pensions ne pas être peints. Les sous-faces des premières et deuxièmes loges, par exemple, ne font

48 Sajous D'Oria 2007.

Fig. 165. Texture des garde-corps des premières loges, représentant des *putti* soutenant un drapé bleu.

l'objet d'aucune proposition de décoration par Cellerier, aussi avons-nous imaginé que celui-ci prévoyait de les laisser en bois brut. Nous avons assigné cette texture à la structure du bâtiment tandis que nous avons créé une texture d'enduit neutre pour tous les murs sur lesquels nous n'avions aucune information (ceux de la cage de scène, mais également les cloisons du rez-de-chaussée et des loges des artistes, par exemple).

À l'issue de cette mise en textures, toutes les surfaces sur lesquelles nous pouvions affecter une texture paramétrique ont été traitées. Il nous reste donc à traiter les éléments de décoration spécifique, peints, qui sont nombreux dans ce théâtre.

Garde-corps, médaillons et plafond

Pour la réalisation des textures des garde-corps, des médaillons et du plafond, nous n'avons pas pu faire appel aux textures paramétriques qui nous permettent, d'habitude, de gagner du temps. Pour cela, nous avons dû affecter des coordonnées UVW aux objets sur lesquels nous souhaitions appliquer ces motifs, puis dessiner ces motifs à la manière de peintures virtuelles sur Adobe Photoshop.

Garde-corps

Le garde-corps des premières loges présente un motif particulièrement bien détaillé par Cellerier puisqu'il y consacre une planche particulière (N/III/Seine 1030FSG/73). Elles représentent des anges nus qui soutiennent des tapisseries qui semblent posées sur le bord du garde-corps. Pour réaliser ce même effet en peinture, nous avons dans un premier temps simulé la chute d'un tissu sur le bord du garde-corps à l'aide de 3DS Max puis à partir de cette image nous avons réalisé un montage pour y ajouter les broderies dorées qui sont suggérées par les dessins de Cellerier.

Concernant les anges eux-mêmes, nous avons recherché des représentations d'angelots ou de *putti* du XVIII^e^ siècle pour les intégrer dans notre peinture virtuelle. Un diptyque d'un suiveur de François Boucher (spécialiste du XVIII^e^ siècle dans la représentations de *putti*) a attiré notre attention puisqu'il présente un grand nombre de ces anges dans des positions qui correspondent à celles suggérées par l'architecte du théâtre pour la Foire Saint-Germain. Il s'agit d'un diptyque intitulé *Cupidon et* putti *jouant avec des bulles* et *Cupidon et* putti *jouant avec des colombes* provenant du château d'Aunoy, mis en vente chez Sotheby's en 2019 et dont les photos en haute qualité sont disponibles sur Internet.

En combinant ces différents éléments nous avons pu recréer l'ensemble du décor du garde-corps et lui appliquer un effet imitant une peinture à l'huile (*Fig. 165*).

Médaillons

Le garde-corps des deuxièmes loges n'est pas aussi détaillé que celui des premières loges dans les plans de Cellerier. Il apparaît comme une succession de panneaux pré-

Fig. 166. **Médaillons de Favart et de Fuzelier. Il n'existe pas de représentation connue de Fuzelier, d'où le recours à un faux décollement de peinture.**

sentant en leur centre un médaillon avec le profil de quelqu'un. Les médaillons sont encadrés par des fleurs à gauche comme à droite.

Concevoir le fond des panneaux ainsi que les gerbes florales s'est montré relativement simple. Nous avons choisi un fond de couleur marbre rose permettant de contraster avec le marbre brèche-violette, une couleur que l'on retrouve régulièrement dans les théâtres du XVIII^e siècle. Par dessus, nous avons ajouté des dorures qui apparaissent peintes en trompe-l'œil autour du médaillon central.

Qui représenter dans ces médaillons ? Le Grand Théâtre de Bordeaux, construit par De Wailly à la fin du XVIII^e siècle, présentait par exemple, dans la salle, des médaillons :

> Les médaillons de Racine, de Crébillon, de Voltaire, de Regnard, de Destouches, de La Chaussée, de Gluck, etc. décorent les devantures des premières loges[49].

Or, les personnages listés ici sont des auteurs de tragédie (Racine, Crébillon ou Voltaire), de comédies (Regnard ou La Chaussée), ou ne sont pas encore connus à Paris à la date de la création de ce théâtre (Gluck). Françoise Rubellin nous a donc présenté une liste de personnages importants qui auraient mériter de figurer dans les médaillons d'un théâtre de la Foire. Le choix de cette liste est d'autant plus important qu'on le sait, à terme, PROUVÉ permettra d'accéder à la fiche de ces personnages depuis l'immersion et donc d'aborder autant de facettes de l'histoire des spectacles de la Foire Saint-Germain. Quinze médaillons figurent sur les plans, la liste contient donc quinze noms :

— Vadé, auteur ;
— Pannard, auteur ;
— Madame Favart, autrice ;

49 *Ibid.*, p. 89, citant une lettre de Jean-Eléazar L'Hospital.

— Favart, auteur ;
— Piron, auteur ;
— Monnet, directeur de l'Opéra-Comique ;
— Poinsinet, auteur ;
— Audinot, directeur de l'Ambigu-Comique ;
— Sedaine, auteur ;
— Fuzelier, auteur ;
— Carolet, auteur ;
— Elisabeth Jacquet de La Guerre, compositrice ;
— Marie Sallé, danseuse ;
— Rameau, compositeur ;
— Le Sage, auteur.

Cette liste permet d'évoquer plusieurs métiers du théâtre de la Foire : les auteurs bien sûr, mais aussi les compositeurs, les directeurs et une danseuse. Les spectacles joués à la Foire sont, rappelons-le, caractérisés par le mélange de théâtre, de musique et de danse. Parmi les auteurs, Le Sage, Fuzelier Piron et Pannard sont représentatifs de la première période des spectacles forains, jusqu'à 1752[50]. Monsieur et madame Favart illustrent la transition, en créant des pièces mêlant les ariettes aux Vaudeville, vers une seconde période. Celle-ci concerne les auteurs Vadé, Poinsinet et Audinot. Ce dernier a également dirigé un théâtre : l'Ambigu-Comique, comme Monnet (L'Opéra-Comique).

Si nous connaissons des portraits de la plupart des ces femmes et hommes qu'il suffit d'intégrer au centre du médaillon, deux, et non des moindres, nous sont inconnus. On ne connaît pas, en effet, de représentation de Fuzelier et de Carolet. Plutôt que de chercher à imaginer un portrait fictif, nous avons préféré représenter ces médaillons comme si leur surface avait été abimée : la peinture écaillée à l'endroit des portraits ne laisse alors apparaître que leur nom (*Fig. 166*).

Plafond

Le décor du plafond fait l'objet de deux plans de détail par Cellerier. Si les deux montrent un décor de nuages dans lequel se cachent des divinités, un thème récurrent dans les plafonds de théâtre à l'époque[51], l'un des deux combine cela avec une représentation architecturale en trompe-l'œil. Celui-ci évoque six demi-dômes à caissons qui viendraient supporter une voûte centrale percée d'un oculus elliptique. C'est au travers de cet oculus que l'on aperçoit le ciel nuageux peuplé de divinités et d'anges.

Pour la réalisation de ce trompe-l'œil, nous avons choisi de modéliser l'architecture suggérée par Cellerier, d'en produire une image et d'y intégrer une peinture numérique de notre création représentant le ciel nuageux et les divinités. La modélisation a fait apparaître une incohérence dans le dessin du trompe-l'œil de l'architecte. Tels que dessinés, les dômes à caissons semblent avoir un axe de révolution horizontal, or, s'ils devaient soutenir un dôme, leur axe de révolution devrait être vertical… nous avons néanmoins fait le choix de garder la représentation de l'architecte dans notre trompe-l'œil.

Concernant le tableau au fond du trompe-l'œil, nous nous sommes appuyé sur l'œuvre de François Boucher, *Vénus à la Forge de Vulcain*, présentant la déesse accompagnée sur un nuage, telle qu'elle apparaît sur le croquis de Cellerier. En combinant cette image avec plusieurs autres *putti*, on peut obtenir une composition dans l'esprit de celle de l'architecte (*Fig. 167*).

50 L'Opéra-Comique, pour lequel s'illustrent ces auteurs, est supprimée de 1745 à 1752 (on joue des pantomimes dans la salle).
51 *Ibid.*, p. 117.

Fig. 167. Décor en trompe l'œil our le plafond de la salle de spectacle. La scène est à gauche.

Le décor sur la scène

Une fois tous ces éléments placés, la salle semble complète, mais l'utilisateur immergé regarderait alors vers une scène vide. Nous avons donc cherché à restituer les décors qui auraient pu se trouver sur scène lors de la représentation d'un spectacle d'Audinot. Malheureusement, si le nom de certaines pièces jouées à l'Ambigu Comique nous est connu[52], nous n'avons pas pu accéder au contenu de ces pièces et à d'éventuelles didascalies indiquant le décor dans lequel elles se jouaient. Pour contourner cette difficulté, nous avons entrepris d'étudier les suggestions de décor de scène qui apparaissent dans l'ensemble de notre corpus, tous de la main de Cellerier, pour tenter d'en extraire le décor idéal imaginé par l'architecte. C'est ce décor que nous mettons en scène dans le théâtre restitué.

Les décors de scène dans les plans de Cellerier

Parmi les 176 planches qui composent le corpus des plans de théâtre pour Audinot par Cellerier, nous avons pu identifier neuf planches représentant une architecture dans le cadre de scène. Trois d'entre elles ne représentent vraisemblablement pas les décors mais plutôt un trompe-l'œil peint sur le cadre de scène. En effet, elles montrent une architecture traversant la scène, la rendant impraticable tout en venant fermer la vue sur le fond de scène. Ces planches sont les suivantes :

Cote	Projet	Description
N/III/Seine/259/4	FSG-M	Un croquis de décor de scène apparaît, au crayon, sur la coupe transversale montant le cadre de scène.

52 À titre d'exemple, pour la décennie 1770, la base de donnée CESAR recense les spectacles suivants pour Audinot : *La Belle au Bois Dormant* (1770), *Les Faiseuses de mode* (1771), *La Musicomanie* (1778), *Lustucru* (1779), *Le Magicien de village ou l'âne perdu et retrouvé* (1779) et *Les Quatre fils Aymon* (1779).

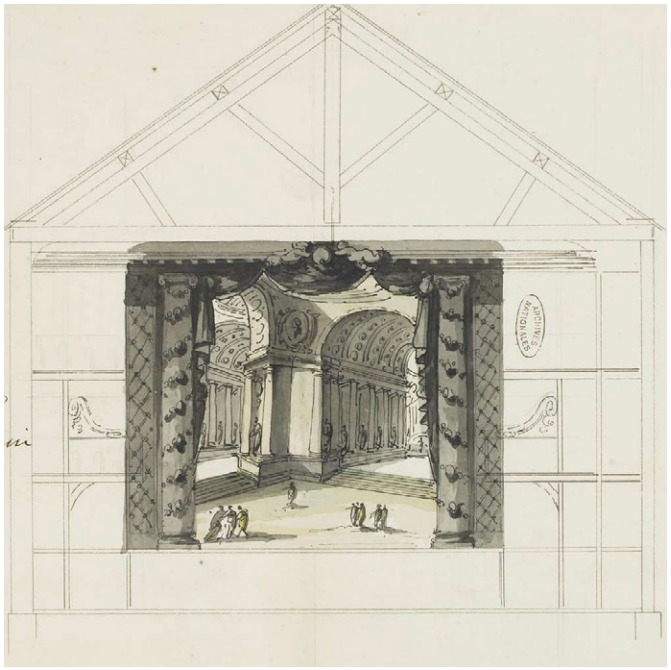


Fig. 168. Planche N/III/Seine/262/17 montrant le décor de la scène.

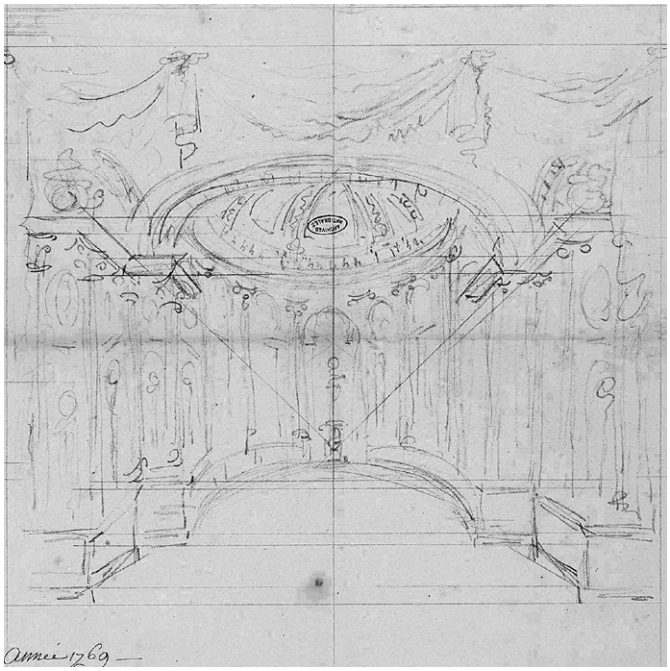


Fig. 169. Extrait de la planche N/III/Seine/1030/8. Un traitement a été appliqué pour révéler le croquis.

Cote	Projet	Description
N/III/Seine/262/17	FSG-PRE	Un décor de scène au lavis apparaît dans la coupe transversale de la salle.
N/III/Seine/1030/8	BT-PRO2 (?)	Croquis au crayon montrant uniquement le décor de la scène.
N/III/Seine/1030/13	BT-PRO2	Dessin au lavis montrant le décor en trompe-l'œil du rideau de scène.
N/III/Seine/1030/17	BT-PRO2	Croquis à peine esquissé d'un décor de scène au milieu du croquis, plus détaillé, du cadre de scène.
N/III/Seine/1030/32	BT-PRO2	Dessin au lavis montant le décor en trompe-l'œil du rideau de scène.
N/III/Seine/1030/33	BT-PRO2	Dessin au lavis montrant le décor sur scène depuis la coupe transversale du projet.
N/III/Seine/1030FSG/37	FSG-APD	Croquis de décor sur scène sur une coupe transversale non terminée.
N/III/Seine/1030FSG/42	BT-MOD2	Croquis du cadre de scène et esquisse d'un décor sur la scène.

Table 12. Liste des planches du corpus contenant des représentations de décors.

Les points communs entre tous ces décors est qu'ils font apparaître des éléments d'architecture : colonnes et arcades sont omniprésents dans l'ensemble. Malgré cela, les décors du rideau de scène (N/III/Seine/1030/13 et N/III/Seine/1030/32) font clairement apparaître, en arrière-plan de cette architecture faite de colonnes ioniques, un jardin avec arbres et buissons, suggérant un espace extérieur ou une fabrique de jardin[53] (*Fig. 141*). Le thème de la fabrique revient également dans la planche montrant le décor de l'Ambigu Comique (N/III/Seine/1030/33) où la perspective faite de deux grandes arcades massives s'ouvre sur un jardin au centre duquel trône un kiosque circulaire.

53 La planche N/III/Seine/1030/32 évoque clairement, par exemple, un autel circulaire de type tholos, entouré de colonnes, au milieu d'un jardin.

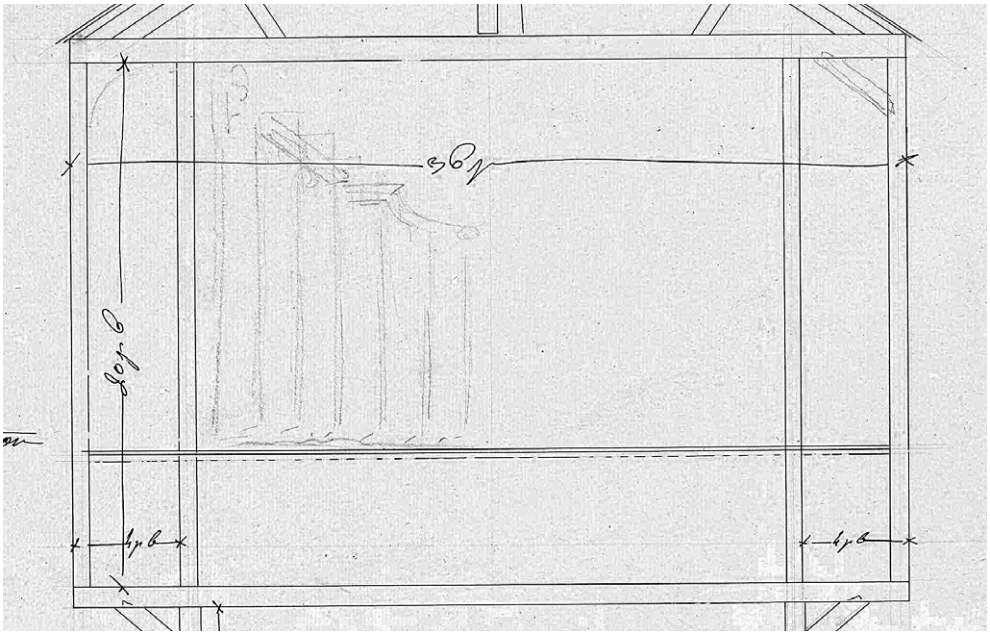


Fig. 170. Extrait de la planche N/III/Seine/1030FSG/37. Un traitement a été appliqué pour révéler le croquis à la mine au centre.

Les autres planches semblent montrer un espace intérieur ; le décor pour le théâtre projeté dans le préau de la Foire Saint-Germain est celui qui présente l'espace le plus vaste. On y reconnaît l'intersection de deux grandes galeries flanquées de colonnes, formant un espace recouvert d'un dôme (*Fig. 168*). L'influence d'architectures monumentales comme l'intérieur de Saint-Pierre de Rome semble ici évident. Notons toutefois que la perspective, avec un point de fuite très en hauteur, semble peu adaptée à la réalisation d'un décor de scène.

Les décors suggérés par N/III/Seine1030/8 et N/III/Seine/1030FSG/42 partagent une représentation semblable d'une galerie couverte d'une voûte en plein cintre, flanquée de colonnes sur un stylobate, et s'achevant par une colonnade en exèdre formant le fond de scène (*Fig. 169*). Il s'agit probablement de la représentation d'un décor d'intérieur de palais, un décor courant parmi les dotations des théâtres du XVIII^e^ siècle.

Sur la planche N/III/Seine/1030FSG/37, l'architecte n'a fait aucune suggestion de plafond ou de ciel pour son architecture. Cette planche est particulièrement intéressante puisqu'elle semble montrer, dans ce croquis très rapide pour le théâtre, la découpe des différents plans de décors (cinq plans de décors latéraux plus un fond de scène) (*Fig. 170*). À chaque plan ou presque semble correspondre une colonne, dont on distingue à peine la forme. Ces plans représentent deux colonnades parallèles se dirigeant vers le fond de scène, fermé par une autre colonnade formant un exèdre au centre.

L'ensemble de ces décors, bien que peu détaillé, nous permet d'envisager le décor idéal envisagé par l'architecte Cellerier pour les théâtres qu'il conçoit à la Foire Saint-Germain et sur le Boulevard du Temple. Ce décor est composé de colonnes qui viennent fermer l'espace à droite et à gauche et délimitent un espace intérieur (comme une pièce d'un palais) ou un espace extérieur (comme une cour). Elles permettent, sur scène, une succession de plans latéraux (un par colonne) qui viennent éviter les découvertes sur les coulisses. En guise de fond de scène, la colonnade se retourne et vient fermer l'espace, laissant peut-être entrevoir une vue sur l'horizon à l'arrière-plan (comme suggéré sur les décors de rideaux de scène). Il s'agit d'un type de décor que l'on retrouve dans de nombreux théâtres au XVIII^e^ siècle[54].

54 On retrouve, par exemple, cette configuration dans les décors originaux du théâtre de Drottningholm, en Suède. Ces décors datent de la construction du théâtre en 1766.

Fig. 171. Vue de l'intérieur du théâtre complet, avec le décor sur la scène, les textures et l'éclairage.

Fig. 172. **Proposition de décor pour la scène du théâtre.**

Réalisation d'un décor de scène

À partir de ces données partielles, nous avons donc entrepris de modéliser en trois dimensions l'architecture correspondant à ces critères. Afin qu'elle puisse correspondre aux découpage des décors latéraux, nous avons fait en sorte que la perspective soit suffisamment forte pour respecter la taille des châssis qui sont précisément représentés sur la coupe de la scène. De plus, nous avons disposé les différents éléments dans le modèle virtuel du décor de telle sorte que la superposition des éléments du décor une fois positionné sur la scène restitue fidèlement cette impression de volume.

L'architecture elle-même est composée, symétriquement, de colonnes ioniques disposées sur un stylobate et portant une corniche très imposante. Nous avons fait le choix de représenter un espace extérieur, aussi n'avons-nous pas disposé de voûte au-dessus de ces colonnes. Les colonnes qui forment un exèdre en fond de scène laissent entrevoir un paysage évoquant la toscane (*Fig. 172*).

Une fois la modélisation de l'espace correspondant au décor réalisée, nous avons dû produire des images correspondant aux cinq plans de décors latéraux sur châssis et au fond de scène. Nous avons également produit les ciels indispensables pour éviter les découvertes vers le plafond de la cage de scène. À ce stade, nous obtenons un ensemble de représentations 2D que nous pouvons placer sur la scène du théâtre et qui donnent l'impression, avec la bonne orientation, de la profondeur (*Fig. 171*).

Le décor sur la scène, l'éclairage réglé, les textures de la salle en place, nous obtenons ainsi un intérieur réaliste de la salle du projet de théâtre pour la Foire Saint-Germain de 1772 tel que dessiné par Cellerier. Pour arriver à ce résultat, nous avons dû faire un certain nombre de suppositions et nous baser sur des exemples de théâtres de la même époque pour pouvoir restituer la part manquante des plans de Cellerier : les couleurs, les textures et l'éclairage. Le modèle ainsi produit permet de donner une bonne idée de ce à quoi pouvait ressembler l'intérieur de la salle d'Audinot à la Foire Saint-Germain.

Fig. 173. Section longitudinale du théâtre avec les textures de la salle, l'éclairage et les décors mis en place.

Conclusion et perspectives

Dans notre introduction, nous évoquions l'occasion manquée que représente l'absence d'usage de la réalité virtuelle en histoire et en archéologie. Arrivé à la conclusion, nous pensons avoir démontré la pertinence de ces nouvelles technologies pour l'étude et la restitution d'espaces du passé. Pour cela, nous avons dû dans un premier temps adopter une méthode qui prenne en compte les points forts et les potentiels de la réalité virtuelle pour l'histoire et l'archéologie. Cette méthode, la rétro-architecture, constitue notre première contribution scientifique. Pour être pertinente, elle doit être liée à de nouveaux outils permettant de rendre crédible la réalité virtuelle auprès de la communauté scientifique : nous avons regroupés ceux-ci sous le nom de PROUVÉ. Ils permettent d'offrir un environnement de travail pour le chercheur et une expérience ludique qui ne dénature pas les propos scientifiques. La force de notre proposition tient en effet à sa capacité à s'adapter à un grand nombre de publics dans des phases différentes : production de la recherche, diffusion des résultats et médiation auprès du grand public.

Outre un volet numérique, cette thèse a également développé un volet histoire culturelle en apportant un nouvel éclairage sur les conditions matérielles et spatiales des spectacles de la Foire Saint-Germain à Paris au XVIIIe siècle. Si ce sujet a déjà fait l'objet de nombreuses études en histoire des spectacles, littérature ou musicologie, c'est la première fois qu'une approche spatiale et architecturale systématique lui était appliquée. La réalité virtuelle est alors apparue comme un outil essentiel permettant l'analyse des théâtres et des possibilités d'usages que les espaces restitués offrent tant rétrospectivement (en étudiant par exemple les interactions sociales rendues possibles par l'espace au XVIIIe siècle) que dans le temps présent (en s'interrogeant sur les possibilités de médiation offertes par ces restitutions).

Dans cette courte conclusion, nous entendons faire le bilan des apports de cette thèse concernant notre contribution à rendre la réalité virtuelle plus crédible aux yeux des historiens et archéologues. Nous ferons également le bilan de notre apport en histoire culturelle, précisément sur la morphologie et l'architecture des théâtre forains du parisiens du XVIIIe siècle. Nous aborderons ensuite les limites de ce travail et proposerons des perspectives de développement et de recherche sur toutes ces thématiques.

Rappel des principales contributions

Réalité virtuelle et ingénierie des connaissances

À qui s'adresse la réalité virtuelle ? À tout le monde ! C'est tout du moins l'hypothèse que nous formulions à la fin du Chapitre II à la suite de plusieurs expérimentations réalisées en amont et pendant ces travaux de recherche. Nous avons démontré la pertinence de l'immersion en réalité virtuelle pour l'étude du patrimoine (Chapitre V), la dissémination et la médiation d'hypothèses scientifiques (Chapitre VI).

Afin de rendre cet outil pertinent dans un usage de recherche scientifique, nous avons toutefois postulé le besoin de l'utilisation d'une méthode scientifique, nommée rétro-architecture. Celle-ci repose sur plusieurs hypothèses que nous avons pu vérifier dans cette thèse :

— La prise en compte des usages permet bien d'encadrer les restitutions possibles d'un usage (**H1**) : on l'a vu lors de l'intégration des besoins d'un marionnettiste pour la restitution du castelet dans le théâtre de marionnettes pour la Foire Saint-Germain (Chapitre V) ;
— La restitution de l'environnement sensible permet effectivement de créer un climat propice aux nouvelles découvertes (**H2**) : c'est la sensation d'espace et de proportion qui a permis d'avancer sur l'interprétation de la maquette pour le théâtre d'Audinot à la Foire Saint-Germain de 1772 (Chapitre VII) ;
— La modélisation 3D a très souvent permis une démarche critique des documents (**H3**) : la modélisation du théâtre d'Audinot a nécessité une analyse exhaustive du fond documentaire et a permis de relever la présence de plusieurs versions du même projet de théâtre (Chapitre VII) ;
— L'immersion en réalité virtuelle a permis de produire et de communiquer des récits historiques (**H4**) : les expériences réalisées à Washington (Chapitre VI) ont démontré le potentiel de la réalité virtuelle dans ce domaine ;
— La modélisation permet de mettre en œuvre plusieurs théories ou hypothèses (**H5**) : les restitutions archéologiques ont fait un grand usage de cette possibilité (Chapitre II), en autorisant les archéologues à expérimenter plusieurs hypothèses de restitution ;
— En archéologie, accéder numériquement aux vestiges est un atout pour le processus de restitution (**H6**) : la superposition de la restitution au modèle issu du relevé photogrammétrique a en effet permis une meilleure interprétation des vestiges dans le cas du fouloir de Plinthine en Égypte (Chapitre II) ;
— L'usage de la 3D a toujours encouragé un travail pluridisciplinaire (**H7**) : tout le long de cette thèse, la capacité à produire des images et, mieux, des expériences immersives, a permis à un grand nombre de spécialistes issus d'horizons différents de travailler efficacement (architectes, ingénieurs, historiens, professeurs de littérature, marionnettiste, musicologue, etc.) ;
— Enfin, le mouvement est effectivement central dans la perception de l'espace (**H8**) : nous pouvons évoquer les contorsions des très nombreux utilisateurs de la réalité virtuelle dans le théâtre de marionnettes lors des différentes Fêtes de la Science, leur permettant de prendre la mesure de l'espace et de la salle grâce à différents points de vue.

Fondée sur ces huit hypothèses, la rétro-architecture permet de restituer un espace du passé en se concentrant sur la notion d'usage et sur les traces que les différents usages d'un espace ont pu laisser. Elle repose sur cinq étapes : collecte des documents, contextualisation, recoupement et analyse, modélisation et visite virtuelle. Celles-ci assurent la production d'un modèle qui tienne compte de la do-

cumentation historique ou archéologique, de ses éventuelles contradictions, mais également du savoir des experts du projet de restitution. Il s'agit principalement d'éviter que la restitution n'échappe, en quelque sorte, aux mains des archéologues ou historiens pour produire un résultat qui serait visuellement convainquant mais scientifiquement faible.

L'outil PROUVÉ que nous avons conçu autorise justement cette démarche critique et scientifique. Cette brique logicielle pour Unity (un environnement de développement de jeux vidéo) et Omeka (une architecture de base de données patrimoniale) assure un lien étroit entre le modèle 3D produit par une restitution et les données historiques ou archéologiques : les sources restent accessibles dans toute leur complexité et leurs relations, même en réalité virtuelle. PROUVÉ permet en outre des séances de travail, autorisant le commentaire de modèles, la consultation des sources et le travail pluridisciplinaire en réalité virtuelle ou sur un ordinateur classique. La démonstration de PROUVÉ à Washington a permis de mesurer l'impact de son utilisation sur la perception de la réalité virtuelle pour les chercheurs et sur la compréhension du modèle de théâtre de marionnettes à la Foire Saint-Germain. Cette expérience démontre à elle seule la pertinence de la réalité virtuelle pour les sciences humaines en général, et pour la restitution historique ou archéologique en particulier.

Histoire de la Foire Saint-Germain

Développée dans le cadre du projet VESPACE (*Virtual Early-modern Spectacles and Publics, Active and Collaborative Environment*), cette thèse avait pour cas d'étude les théâtres des foires parisiennes au XVIII^e^ siècle, au premier rangs desquels les théâtres de la Foire Saint-Germain. Comme nous l'évoquions précédemment, ce fut l'occasion d'aborder le sujet des théâtres forains avec une nouvelle approche basée sur l'espace et l'usage. Nous avons donc entrepris une relecture des nombreux documents graphiques qui représentent la Foire Saint-Germain au cours de son histoire. Nous avons ainsi pu montrer la plasticité de cet espace qui pendant plusieurs siècles est passé d'un enclos en bordure de Paris à un lieu culturel incontournable au cœur de la ville des Lumières.

Il nous semble d'ailleurs que l'histoire culturelle des spectacles forains parisiens ne peut s'expliquer sans visualiser sur la carte la position relative des différents lieux de représentation. On y comprend ainsi mieux la concurrence féroce à laquelle se livrent les forains et les Comédiens Français, ceux-ci ne jouant qu'à quelques centaines de mètres de distance. On y découvre également l'ambivalence du terme "théâtre forain" : la plupart de ces théâtres, dans la première partie du XVIII^e^ siècle et avant l'incendie de la Foire Saint-Germain en 1762 avaient lieu *autour* plus que *dans* la Foire. À ce titre, nous avons pu montrer l'importance du préau de la Foire, espace de relative liberté architecturale qui a permis l'édification de plusieurs loges abritant des spectacles et des entrepreneurs qui ont participé activement à l'histoire du théâtre forain. La destruction du préau à la faveur d'un marché desservant le quartier Saint-Germain a ainsi profondément modifié la répartition spatiale des lieux de spectacles forains.

À une échelle plus réduite, en proposant pour la première fois la restitution de l'intérieur d'une loge de spectacle à cette foire, nous avons pu mettre une image sur ce qui n'était jusqu'à présent que décrit par des mots. Les préjugés négatifs sur les théâtres forains ont depuis longtemps été combattus, mais le modèle que nous avons produit d'un intérieur de théâtre de marionnettes à la Foire Saint-Germain vient définitivement tordre le cou à l'image de quelques tréteaux disposés dans la rue. Ce théâtre de dimension réduite est un vecteur de communication et de médiation permettant d'aborder toute la complexité de la sociabilité française qui s'exprime

dans l'espace d'une salle de théâtre. Il permet également de mettre en évidence l'art des marionnettes qui fut un allié du théâtre forain dès la fin du XVII^e siècle et qui constitue un art vivant toujours méconnu aujourd'hui.

Avec la maquette d'un projet de théâtre pour Audinot en 1772, nous démontrons que la Foire Saint-Germain continue d'attirer les entrepreneurs de spectacles et les projets de grande ampleur après l'incendie de 1762. Le théâtre restitué, plus grand, plus complexe et probablement plus riche que le théâtre de marionnettes, montre le désir des entrepreneurs forains de soutenir la comparaison avec la Comédie-Française ou l'Opéra. Au moment où l'épicentre des spectacles non-officiels parisiens se déplace des foires vers les boulevards, les projets semblent prendre une ampleur sans précédent. Pourtant, le projet que nous avons restitué devait avoir une échelle semblable à celle des théâtres des entrepreneurs forains qui fondèrent progressivement au début du XVIII^e siècle l'Opéra-Comique. Ceux-ci n'hésitaient par alors à s'installer dans des salles qui avaient précédemment accueilli l'Opéra ou la Comédie-Française.

Restituer ces espaces est loin d'être anecdotique. À l'échelle urbaine, cela permet de mieux appréhender la compétition entre ces différents théâtres qui devaient séduire les potentiels spectateurs, mais aussi la relation entre les lieux de vente et les lieux de spectacle. À l'échelle des théâtres, cela permet de renseigner de manière inédite les conditions matérielles de la représentation.

Limites et perspectives

La réponse aux problématiques formulées dans cette thèse n'est qu'esquissée et ne saurait être considérée comme définitive et complète. Nous n'avons proposé qu'une méthode générique, qu'il faudra mettre à l'épreuve sur de nombreux projets et cas d'étude pour en assurer la pertinence. Nous l'avons en effet développée sur la base de notre expérience et de celle des archéologues et historiens avec lesquels nous avons été en contact. Pour assurer une méthode plus robuste et générique, il conviendrait de développer un état des lieux qui soit moins partial et concerne une plus grande diversité de disciplines de l'histoire et de l'archéologie, mais également de s'interroger sur les pratiques des chercheurs à travers le monde. L'enjeu est en effet de trouver des solutions qui s'intègrent de la manière la plus simple possible dans les habitudes des chercheurs tout en débloquant les nouveaux usages rendus possibles par la réalité virtuelle.

Nous pensons que cette méthode doit servir à replacer le chercheur au cœur de la production des images numériques qui sont ensuite diffusées auprès de la communauté scientifique et du grand public. Nos échanges avec de nombreux historiens ou archéologues ont souvent révélé la peur de voir le sujet d'une découverte ou d'une interprétation être oublié au profit d'une image qui serait visuellement plus attirante pour le grand public. En faisant du modèle 3D un outil de travail dont puissent se servir les membres de la communauté scientifique grâce à la réalité virtuelle (qui vient flouter si ce n'est effacer les barrières dues à l'interprétation des images sur des supports en deux dimensions), nous espérons faire un pas dans la direction d'une réappropriation de l'image comme vecteur de la recherche archéologique et historique. Cela nécessite, évidemment, de pouvoir cultiver la curiosité et la méfiance des images, *a fortiori* en réalité virtuelle, chez le grand public et chez les scientifiques eux-mêmes.

C'est précisément dans ce but que nous avons développé l'outil logiciel PROUVÉ, permettant d'apporter une profondeur supplémentaire à l'image, selon les mots de Jeffrey Leichman. PROUVÉ est cependant encore incomplet : il répond avant tout aux problèmes posés par l'affichage des sources qui ont permis la restitution d'un modèle. Le modèle de données géré dépend fortement de la plateforme Omeka, qui offre un moyen rapide de gérer des données patrimoniales. Or, l'analyse de données historiques grâce aux sciences numériques fait évoluer de manière radicale les usages en terme de stockage de données. Il est donc important de garder en tête les limitations d'Omeka. À ce titre, la thèse récemment soutenue de Loïc Jeanson montre que d'autres approches, nécessitant une architecture plus complexe, permettent d'intégrer des connaissances sous des formes encore plus hétérogènes que ne le permet Omeka. De même, le recours de plus en plus important aux sciences dites participatives, où le grand public par son action contribue à nourrir une base de données par exemple, nécessiteraient de compléter l'architecture de base de données sur laquelle repose PROUVÉ.

Concernant l'outil lui-même, il ne permet pas dans son état actuel de confronter des sources contradictoires, d'identifier de manière précise la portion d'un document qui sert de référence au modèle, ou de comparer plusieurs documents en même temps. Nous avons proposé une preuve de concept qui demande à être complétée afin d'autoriser un travail efficace du chercheur sans quitter le casque de réalité virtuelle. Pour ce faire, un travail de fond et de forme avec des spécialistes de l'interface utilisateur, mais également avec un panel d'utilisateur potentiels, reste à effectuer.

Peut-être alors que le postulat que nous avions établi en commençant notre travail (une même interface pour trois publics différents) devra être réévalué.

Durant cette recherche, nous avons tenté à plusieurs reprises d'établir un lien entre les outils que nous proposions pour les chercheurs en histoire et en archéologie et les besoins du monde industriel. Avec notre collègue Oussama Meski, nous avions ainsi proposé de reprendre l'interface de PROUVÉ et de l'appliquer à la visualisation des dommages liés à des défauts d'usinage sur des pièces industrielles. Cet exemple entendait démontrer la pertinence de la visualisation des données produites dans le cadre de l'industrie dite « 4.0 », reposant sur une accumulation massive d'informations, sur les modèles numériques des objets fabriqués. En accédant en réalité virtuelle à la bibliothèque de pièces produites et à l'ensemble des défauts d'usinage correspondants, il est ainsi possible d'aider les ingénieurs concepteurs de ces pièces à éviter certains défauts ou à en comprendre l'apparition. Utiliser les outils d'annotation simplifiés de PROUVÉ aurait en outre pu permettre de faciliter les différents échanges au sein des équipes de conception et production d'une entreprise.

Concernant le cas d'étude des théâtres de la Foire Saint-Germain, notre travail présente des limites évidentes qui appellent à une continuation. Pendant estival à cette foire, la Foire Saint-Laurent proposait également des spectacles dans des théâtres et à ce titre pourrait faire l'objet du même type de recherche. Nous avions volontairement éliminé la Foire Saint-Laurent de notre analyse, afin d'en limiter l'étendue, alors que les mêmes entrepreneurs étaient présents aux deux Foires. Il faut ajouter à celles-ci les foires moins importantes de Paris, où se jouaient également des spectacles, comme la Foire Saint-Ovide. Idéalement, on pourrait donc entrevoir un panorama beaucoup plus précis du paysage théâtral parisien au XVIII^e^ siècle, en mettant en évidence son côté saisonnier. De manière générale, à notre connaissance, la cartographie de l'ensemble des lieux de spectacles de la capitale pour le siècle des Lumières reste à faire, elle permettrait pourtant de mieux saisir l'étendue de la théâtromanie à la veille de la Révolution Française.

Les espaces que nous avons restitués restent vides pour la plupart. L'utilisateur ne peut contempler que l'architecture et éventuellement un spectacle de marionnettes donné sur la scène. Or, on sait que le théâtre au XVIII^e^ siècle est une expérience sociale qui voit la salle plus que la scène devenir le lieu de très nombreux échanges et réseaux. On vient au théâtre pour voir et être vu. Dans leur état actuel, les restitutions produites ne permettent pas d'aborder cette thématique, il faudrait pour cela modéliser un public qui intègre de manière pertinente et naturelle l'utilisateur en réalité virtuelle. C'est l'objet notamment de la partie américaine du projet VESPACE, cherchant à restituer des comportements et interactions sociales du XVIII^e^ siècle. Il conviendrait aussi de restituer avec le même soin que pour l'architecture les corps et costumes de ces avatars virtuels et d'y attacher le même type d'informations. Bien sûr, le spectacle est aussi sur la scène : numériser et diffuser un spectacle en réalité virtuelle, composé de dizaines d'acteurs, chanteurs et musiciens reste aujourd'hui un verrou technologique qui seul pourrait permettre une expérience théâtrale complète et réaliste.

En définitive, cette thèse est loin d'avoir épuisé notre intérêt pour le monde des théatres du XVIII^e^ siècle et pour l'usage des dispotifis de réalité virtuelle en humanités numériques. Nous ne pouvons que souhaiter continuer dans une voie permettant d'allier patrimoine culturel, ingénierie numérique et architecture à l'avenir.

Bibliographie

Réalité virtuelle, ingénierie et architecture

Abiven *et al.* 2018

M.-M. Abiven, S. Laubé, R. Querrec, S. Garlatti, B. Rohou, M. Courgeon, R. Vourch, *et al.*, « Histoire des paysages portuaires et humanités numériques ». 2018, [En ligne]. Disponible sur : https://hal.univ-brest.fr/hal-01797296.

Acevedo *et al.* 2001

D. Acevedo, E. Vote, D. H. Laidlaw, et M. S. Joukowsky, « Archaeological Data Visualization in VR: Analysis of Lamp Finds at the Great Temple of Petra, a Case Study », présenté à *Visualization*, San Diego, 2001.

Aiello et Bolognesi 2020

D. Aiello et C. Bolognesi, « Reliving History: The Digital Reconstruction of the Convent of Santa Maria Delle Grazie in Milan », *Virtual Archaeology Review*, vol. 11, n° 23, 2020.

Alichoran *et al.* 2018

J. Alichoran, N. Aloudat, M. Al-Maqdissi, Z. Bahrani, A. Clémente-Ruiz, J.-C. David, H. Eristov, *et al.*, *Cités millénaires : Voyage virtuel de Palmyre à Mossoul*. Paris, Hazan, 2018.

Allcoat et von Mühlenen 2018

D. Allcoat et A. von Mühlenen, « Learning in virtual reality: Effects on performance, emotion and engagement », *Research in Learning Technology*, vol. 26, 2018.

Alvarez *et al.* 2012

J. Alvarez, D. Djaouti, et O. Rampnoux, « Typologie des Serious Games », in *Les Jeux vidéo comme objet de recherche, Questions théoriques*, 2012.

Angelov *et al.* 2020

V. Angelov, E. Petkov, G. Shipkovenski, et T. Kalushkov, « Modern Virtual Reality Headsets », présenté à *International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications*, Ankara, 2020.

Anthes *et al.* 2016

C. Anthes, R. J. García-Hernández, M. Wiedemann, et D. Kranzlmüller, « State of the art of virtual reality technology », présenté à *IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, 2016.

Argelaguet *et al.* 2016

F. Argelaguet, L. Hoyet, M. Trico, et A. Lécuyer, « The role of interaction in virtual embodiment: Effects of the virtual hand representation », présenté à *IEEE Virtual Reality*, Greenville, 2016.

Artaud 1938

A. Artaud, *Le théâtre et son double*. Paris, Gallimard, 1938.

Athanasiou *et al.* 2013

E. Athanasiou, M. Fakka, S. Hermon, V. Vassallo, et K. Yiakoupi, « 3D documentation pipeline of Cultural Heritage artifacts: a cross-disciplinary implementation », présenté à *Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, Marseille, 2013.

Attenni *et al.* 2017

M. Attenni, C. Bartolomei, M. Hess, et A. Ippolito, « Survey and Modeling: From the process to a methodology », *Scientific Research and Information Technology*, vol. 7, n° 1, p. 57-72, 2017.

Bale *et al.* 2011

K. Bale, D. Abbott, Gowigati, D. Prtichard, et P. Chapman, « Linking Evidence with Heritage Visualization using a Large Scale Collaborative Interface », présenté à *International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage*, Prato, 2011.

Banfi 2020
F. Banfi, « HBIM, 3D Drawing and Virtual REality for Archaeological Sites and Ancient Ruins », *Virtual Archaeology Review*, vol. 11, n° 23, p. 16-33, 2020.

Bangor *et al.* 2009
A. Bangor, P. Kortum, et J. Miller, « Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale », *Journal of Usability Studies*, vol. 4, n° 3, p. 114-123, 2009.

Barbier *et al.* 2017
J. Barbier, P. Kenny, J. Young, J.-M. Normand, M. Keane, M. O'Sullivan, et A. Ventresque, « MAAP Annotate: When Archaeology meets Augmented Reality for Annotation of Megalithic Art », présenté à *International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, Dublin, 2017.

Barreau *et al.* 2014
J.-B. Barreau, R. Gaugne, Y. Bernard, G. Le Cloirec, et V. Gouranton, « Virtual reality tools for the West Digital Conservatory of Archaeological Heritage », présenté à *Laval Virtual - VRIC*, Laval, 2014.

——— 2017
J.-B. Barreau, R. Gaugne, et V. Gouranton, « Immersive Point Cloud Manipulation for Cultural Heritage Documentation », *ERCIM News*, 2017.

——— 2015a
J.-B. Barreau, F. Nouviale, R. Gaugne, Y. Bernard, S. Llinares, et V. Gouranton, « An Immersive Virtual Sailing on the 18th-Century Ship Le Boullongne », *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 24, n° 3, 2015a.

——— 2015b
J.-B. Barreau, Q. Petit, Y. Bernard, R. Auger, Y. Le Roux, R. Gaugne, et V. Gouranton, « 3D Reconstitution of the Loyola Sugar Plantation and Virtual Reality Applications », présenté à *Computer Applications & Quantitative Methods in Archaeology*, Sienne, 2015b.

Barthélemy 1992
M. Barthélemy, « L'opéra-comique des origines à la Querelle des Bouffons », in *L'Opéra-Comique en France au XVIII^e siècle*, dir. Ph. Vendrix, Liège, Mardaga, 1992.

Bellet *et al.* 2005
M.-E. Bellet, C.-A. de Chazelles, J.-C. Golvin, M. Levêque, M. Lugand, C. Olive, D. A. Rousseau, *et al.*, *De la restitution en archéologie*, Éditions du Patrimoine-Centre des Monuments Nationaux. 2005.

Bernard *et al.* 2010
A. Bernard, F. Laroche, R. Sébastien, et A. Durupt, « New trends in Reverse-Engineering: Augmented-Semantic models for redesign of existing objects », in *Reverse Engineering*, 2010.

Bertino *et al.* 2006
E. Bertino, S. Franzoni, P. Mazzoleni, P. Mussio, et S. Valtoline, « Integration of Virtual Reality and Database systems for Cultural Heritage dissemination », *International Journal of Computational Science and Engineering*, vol. 2, n° 5, 2006.

Berty 1876
A. Berty, Topographie Historique du Vieux Paris, vol. 3. Paris, 1876.

Biasi 2000
P.-M. de Biasi, « Pour une approche génétique de l'architecture », *Genesis (Manuscrits-Recherche-Invention)*, n° 14, p. 13-65, 2000.

Bombari *et al.* 2015
D. Bombari, M. Schmid Mast, E. Canadas, et M. Bachmann, « Studying social interactions through immersive virtual environment technology: virtues, pitfalls, and future challenges », *Frontiers in Psychology*, vol. 6, 2015.

Brooke 1986
J. Brooke, « SUS - A quick and dirty usability scale ». Redhatch Consulting Ltd, 1986, [En ligne]. Disponible sur: https://hell.meiert.org/core/pdf/sus.pdf.

——— 2013
J. Brooke, « SUS: A Retrospective », *Journal of Usability Studies*, vol. 8, n° 2, p. 29-40, 2013.

Brownridge 2020
P. Brownridge, « From chalkboards to virtual reality: Exploring the development and implementation of virtual reality in United States History classrooms », Rowan University, 2020.

Cariou et Laubé 2018
D. Cariou et S. Laubé, « Croiser l'histoire des techniques et l'histoire pour construire un milieu didactique favorisant une pensée critique ? », in *Pensée critique, enseignement de l'histoire et de la citoyenneté*, Bruxelles, De Boeck, 2018.

Caron *et al.* 2013
G. Caron, D. Leclet-Groux, N. Crombez, et E. M. Mouaddib, « From Heritage Building Digitization To Computerized Education », présenté à *6th International Congress on Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin*, Athènes, 2013.

Carrozzino et Bergamasco 2010
M. Carrozzino et M. Bergamasco, « Beyond virtual museums: Experiencing immersive virtual reality in real museums », *Journal of Cultural Heritage*, vol. 11, p. 452-458, 2010.

Champion et Rahaman 2020
E. Champion et H. Rahaman, « Survey of 3D Digital Heritage Repositories and Platforms », *Virtual Archaeology Review*, vol. 11, n° 23, 2020.

Chen 2019
M.-B. Chen, « The Cardboard VR Game Development Tool », présenté à *IEEE Eurasia Conference on IOT*, Communication and Engineering, 2019.

Choay 2010
F. Choay, *Le patrimoine en questions : anthologie pour un combat*. Paris, Seuil, 2010.

Christou *et al.* 2006
C. Christou, C. Angus, C. Loscos, A. Dettori, et M. Roussou, « A Versatile Large-Scale Multimodal VR System for Cultural Heritage Visualization », présenté à *VRST'06*, Limassol, 2006.

Clergeaud et Guitton 2017
D. Clergeaud et P. Guitton, « Design of an annotation system for taking notes in virtual reality », présenté à *3DTV Conference 2017: Research and Applications in Future 3D Media*, Copenhague, 2017.

Clyde *et al.* 2012
J. Clyde, H. Hopkins, et G. Wilkinson, « Beyond the "Historical" Simulation: Using Theories of History to Inform Scholarly Game Design », *Loading... The Journal of the Canadian Game Studies Association*, vol. 6, n° 9, p. 3-16, 2012.

Colley *et al.* 2015
A. Colley, J. Väyrynen, et J. Häkkila, « Exploring the Use of Virtual Environments in an Industrial Site Design Process », in *15th Human-Computer Interaction (INTERACT)*, Bamberg, 2015, p. 363-380.

Condorelli et Rinaudo 2019
F. Condorelli et F. Rinaudo, « Processing Historical Film Footage with Photogrammetry and Machine Learning for Cultural Heritage Documentation », in *SUMAC '19: Proceedings of the First Workshop on Structuring and Understanding of Multimedia Heritage Contents*, Nice, 2019, p. 39-46.

Consortium 3D 2017
Consortium 3D, *Livre blanc du Consortium 3D SHS*, Consortium 3D-TGIR HumaNum. 2017.

Cots *et al.* 2018
I. Cots, J. Vilà, J. Diloli, R. Ferré, et L. Bricio, « Virtual Archaeology: From Archaeological Excavation to the management and diffusion of heritage. Les Cases de la Catedral (Tortosa) and the protohistorical settlement of La Cella (Salou), Tarragona », *Virtual Archaeology Review*, vol. 9, n° 19, 2018.

Cruz-Neira *et al.* 1993
C. Cruz-Neira, D. Sandin, et T. DeFanti, « Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE », *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 1993.

D'Orazio *et al.* 2019
D. D'Orazio, A. Rovigatti, et M. Garai, « The Proscenium of Opera Houses as a Disappeared Intangible Heritage: A Virtual Reconstruction of the 1840s Original Design of the Alighieri Theatre in Ravenna », *Acoustics*, vol. 1, n° 3, 2019.

Damnjanovic *et al.* 2013
U. Damnjanovic, S. Hermon, et G. Iannone, « Documentation of the decision-making process in the analysis of digital heritage objects », présenté à *Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, Marseille, 2013.

Dangelmaier et Blach 2017
M. Dangelmaier et R. Blach, « Odor in Immersive Environments », in *Handbook of Odor*, Berlin, Springer, 2017.

Davis 2015
E. Davis, *Techgnosis: Myth, Magic, and Mysticism in the Age of Information*. North Atlantic Books, 2015.

De Luca *et al.* 2011
L. De Luca, C. Busayarat, C. Stefani, P. Véron, et M. Florenzano, « A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage », *Computers & Graphics*, vol. 35, p. 227-241, 2011.

Delbridge et Tompkins 2012
M. Delbridge et J. Tompkins, « Reproduction, Mediation, and Experience Virtual Reality, Motion Capture and Early Modern Theatre », *Space-Event-Agence-Experience*, 2012.

Descamps 2005
F. Descamps, *L'Historien, l'archiviste et le magnétophone : De la constitution de la source orale à son exploitation*. Paris, Institut de la gestion publique et du développement économique, 2005.

Desjardin *et al.* 2012
E. Desjardin, O. Nocent, et C. de Runz, « Prise en compte de l'imperfection des connaissances depuis la saisie des données jusqu'à la restitution 3D », *Archeologia e Calcolatori*, vol. 3, p. 385-395, 2012.

Djindjian 2017
F. Djindjian, *L'Archéologie : théorie, méthodes et reconstitutions*. Paris, Armand Colin, 2017.

Domingues 2010
C. Domingues, « Interaction 3D Collaborative en Réalité Virtuelle », Thèse de doctorat, Université d'Evry Val d'Essonne, Evry, 2010.

Dominic et Robb 2020
J. Dominic et A. Robb, « Exploring Effects of Screen-Fixed and World-Fixed Annotation on Navigation in Virtual Reality », présenté à I*EEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces*, 2020.

Dorta *et al.* 2016
T. Dorta, D. Pierini, et S. Boudhraâ, « Why 360° and VR headsets for movies? Exploratory study of Social VR via Hyve-3D », in *Actes de la 28ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, Fribourg, 2016, p. 211-220.

——— 2019
T. Dorta, S. Safin, S. Boudhraâ, et E. Beaudry Marchand, « Co-Designing in Social VR. Process awareness and suitable representations to empower user participation », présenté à *CAADRIA 2019: Computer assisted architectural design research in Asia*, Wellington, 2019.

Drap *et al.* 2007
P. Drap, A. Durand, M. Nedir, J. Seinturier, O. Papini, R. Gabrielli, D. Peloso, *et al.*, « Photogrammetry and archaeological knowledge: toward a 3D information system dedicated to medieval archaeology: a case study of Shawbak Castle in Jordan », présenté à 3D ARCH 2007, Suisse, 2007.

Dris *et al.* 2016
A.-S. Dris, V. Gouranton, et B. Arnaldi, « Integration concept and model of Industry Foundation Classes (IFC) for interactive virtual environments », présenté à *33rd CIB W78 Conference*, Brisbane, 2016.

Dubé et Courchesne 2012
P. Dubé et L. Courchesne, « Un lieu qui parle : la modélisation architecturale 3D vers une quatrième dimension », *Hereditas Monasteriorum*, vol. 1, p. 129-136, 2012.

Dublin Core Metadata Initiative 2020
Dublin Core Metadata Initiative, « DCMI Metadata Terms ». 2020, [En ligne]. Disponible sur: https://www.dublincore.org/specifications/dublin-core/dcmi-terms/.

Dufaÿ 2014
B. Dufaÿ, « La modélisation 3D de grands ensembles monumentaux de la restitution au Public à la Recherche Scientifique », *Archeologia e Calcolatori*, vol. 5, p. 149-163, 2014.

Duffy et Vogtherr 2013
S. Duffy et C. M. Vogtherr, *Miniatures In The Wallace Collection*. Londres, Paul Holberton, 2013.

Fabio *et al.* 2010
B. Fabio, B. Stefano, G. De Sensi, M.-L. Luchi, S. Mancuso, et M. Muzzupappa, « From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition », *Journal of Cultural Heritage*, vol. 11, p. 42-49, 2010.

Falconer *et al.* 2020
L. Falconer, D. Burden, R. Cleal, R. Hoyte, P. Phelps, N. Slawson, N. Snashall, *et al.*, « Virtual Avebury: Exploring Sense of Place in a Virtual Archaeology Simulation », *Virtual Archaeology Review*, vol. 11, n° 23, 2020.

Fanini et Ferdani 2011
B. Fanini et D. Ferdani, « A new Approach from 3D Modelling and Scanning of Archaeological Data to RealTime Online Exploration », présenté à *Conference in Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Pékin, 2011.

Farinetty *et al.* 2004
E. Farinetty, S. Hermon, et F. Niccolucci, « Fuzzy Logic Application to Artifact Surface Survey Data », présenté à *CAA2004*, Prato, 2004.

Favre-Brun 2013
A. Favre-Brun, *Architecture virtuelle et représentation de l'incertitude : analyse des solutions de visualisation de la représentation 3D. Application à l'église de la chartreuse de Villeneuve-lez-Avignon (Gard) et à l'abbaye Saint-Michel de Cuxa (Pyrénées-Orientales)*, Thèse de doctorat, sous la direction de A. Hartman-Virnich et M. Florenzano, Aix-Marseille Université, Aix-en-Provence, 2013.

Fleury et Madeleine 2007
P. Fleury et S. Madeleine, « Problématique d'une restitution globale de la Rome antique. Une visite interactive avec accès dynamique aux sources anciennes », *Virtual Retrospect*, 2007.

——— 2012
P. Fleury et S. Madeleine, « Reviving Ancient Rome: Virtual Reality at the Service of Cultural Heritage », présenté à *Euromed, Progress in Cultural Heritage Preservation*, Limassol, 2012.

Fleury *et al.* 2014
P. Fleury, S. Madeleine, et N. Lefèvre, « Forum romanum: a 3D Model for Self-Service educational purposes », in *Proceedings of the 42nd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Paris, 2014, p. 569-574.

——— 2015
P. Fleury, S. Madeleine, et N. Lefèvre, « A Roman street at the Time of Constantine: Interactive Visit with Access to Ancient Source Materials », in *Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Perth, 2015, p. 401-104.

François 2014
P. François, « Urbanisme insoupçonné : Projeter la ville égyptienne au Nouvel Empire », Mémoire de master, sous la direction de B. Chavardés, École Nationale Supérieure d'Architecture de Lyon, Lyon, 2014.

——— 2018
P. François, « La Foire Saint-Germain vers 1770 : images et mutations des lieux de spectacle », in *Permanences et mutations des espaces du spectacle vivant dans la ville (de 1750 à nos jours)*, dir. P. Beaucé, S. Dubouilh, C. Triolaire, Bordeaux, à paraître.

——— 2019
P. François, « Dans l'oeil de l'artiste : interprétation virtuelle d'une miniature de Louis-Nicolas van Blarenberghe », in *Identités et circulation des spectacles forains : musique, théâtre, danse, acrobaties et marionnettes, 1660-1830*, dir. B. Porot, Reims, à paraître.

——— 2020
P. François, « De la réalité matérielle à la réalité virtuelle : nouvelles sources et nouveau regard sur les marionnettes des théâtres de la Foire. La Salle », in *Représentations(s). Cultures visuelles des spectacles marginaux (XVIIIe-XIXe siècles)*, dir. C. Murgia, V. Ponzetto, J. Ruimi, Lausanne, à paraître.

François *et al.* 2018
P. François, A. Flammin, et A. Baud, « Restitution d'une chapelle castrale croisée à Belvoir (Israël) », présenté à *Le numérique : outil d'étude de la valeur patrimoniale ! Journées d'études scientifiques prospectives ReSeed*, Charenton-Le-Pont, 2018.

——— 2019a
P. François, F. Laroche, F. Rubellin, et J. Leichman, « Remonter le temps pour comprendre le passé : l'immersion virtuelle au service des historiens », présenté à *Conférence Extraction et Gestion de Connaissances 2019 EGC 2019*, Metz, 2019.

——— 2019b
P. François, F. Laroche, F. Rubellin, et J. Leichman, « De l'usage à l'espace : prospective pour une rétro-architecture », présenté à *Colloque National S-mart/AIP-PRIMECA*, Les Karellis, 2019.

——— 2019c
P. François, F. Laroche, F. Rubellin, et J. Leichman, « A methodology for reverse architecture: modelling space and use », présenté à *CIRP Design 2019*, Povoa de Varzim, 2019.

François et Leichman 2019
P. François et J. Leichman, « Embodiment and Simulation: Playing the Public in a VR Eighteenth-Century Theatre », présenté à *American Society of Theatrical Research 2019*, Washington, 2019.

Freina et Ott 2015
L. Freina et M. Ott, « A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State Of The Art and Perspectives. », présenté à *The 11th eLearning and Software for Education Conference*, Bucharest, 2015.

Fribourg *et al.* 2018
R. Fribourg, F. Argelaguet, L. Hoyet, et A. Lécuyer, « Studying the Sense of Embodiment in VR Shared Experiences », présenté à *VR 2018 - 25th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces*, Reutlingen, 2018.

Frischer et Stinson 2007
B. Frischer et P. Stinson, « The importance of scientific authentication and a formal visual language in virtual models of archaeological sites: the case of the House of Augustus and Villa of the Mysteries », présenté à *Conference on Authenticity, Intellectual Integrity and Sustainable Development of the Public Presentation of Archaeological and Historical Sites and Landscapes*, Ghent, 2007.

Fuchs et Moreau 2003
P. Fuchs et G. Moreau, *Le Traité de la réalité virtuelle : Fondements et interfaces comportementes*, vol. 1, 5 vol. Paris, Les Presses de l'École des Mines de Paris, 2003.

——— 2006a
P. Fuchs et G. Moreau, *Le Traité de la réalité virtuelle : L'interfaçage, l'immersion et l'interaction en environnement virtuel*, vol. 2, 5 vol. Paris, Les Presses de l'École des Mines de Paris, 2006.

——— 2006b
P. Fuchs, G. Moreau, et J. Tisseau, *Le Traité de la réalité virtuelle : Outils et modèles informatiques*, vol. 3, 5 vol. Paris, Les Presses de l'École des Mines de Paris, 2006a.

——— 2009
P. Fuchs et G. Moreau, *Le Traité de la réalité virtuelle : Les humains virtuels*, vol. 5, 5 vol. Paris, Les Presses de l'École des Mines de Paris, 2009.

Fuchs et al. 2006
P. Fuchs, G. Moreau, et B. Arnaldi, *Le Traité de la réalité virtuelle : Les applications de la réalité virtuelle*, vol. 4, 5 vol. Paris, Les Presses de l'École des Mines de Paris, 2006.

Galanopoulo 2019
L. Galanopoulo, « Comment reconstruire le son de Notre-Dame ? », *CNRS Le Journal*, 2019.

Gaugne *et al.* 2012
R. Gaugne, J.-B. Barreau, F. Cousseau, et V. Gouranton, « Large-scale immersive reconstitution of a Neolithic corbel dome », présenté à *International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Brighton, 2012.

——— 2014
R. Gaugne, V. Gouranton, G. Dumont, A. Chauffaut, et B. Arnaldi, « Immersia, an open immersive infrastructure: doing archaeology in virtual reality », *Archeologia e Calcolatori*, vol. 5, 2014.

Giangreco *et al.* 2019
I. Giangreco, L. Sauter, M. A. Parian, R. Gasser, S. Heller, L. Rossetto, et H. Schuldt, « VIRTUE: a virtual reality museum Experience », in *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces: Companion*, 2019, p. 119-120.

Gondet et Castel 2004
S. Gondet et C. Castel, « Prospection géophysique à al-Rawda et urbanisme en Syrie au Bronze ancien », *Paléorient*, vol. 30, n° 2, p. 93-109, 2004.

Gonizzi Barsanti *et al.* 2015
S. Gonizzi Barsanti, G. Caruso, L. Micoli, M. Covarrubias Rodiguez, et G. Guidi, « 3D Visualization of Cultural Heritage Artefacts with Virtual Reality Devices », présenté à *International CIPA Symposium 2015*, Taipei, 2015.

Gorisse *et al.* 2017
G. Gorisse, O. Christmann, E. Armand Amato, et S. Richir, « First- and Third-Person Perspectives in immersive Virtual environments: Presence and Performance analysis of embodied Users », *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 4, 2017.

Guerreiro *et al.* 2014
J. Guerreiro, D. Medeiros, D. Mendes, M. Sousa, J. Jorge, A. Raposo, et I. Santos, « Beyond Post-It: Structured Multimedia Annotations for Collaborative VEs », présenté à *Eurographics Symposium on Virtual Environments*, 2014.

Harmon *et al.* 1996
R. Harmon, W. Patterson, W. Ribarsky, et J. Bolter, « The virtual annotation system », présenté à *Virtual Reality Annual International Symposium*, Santa Clara, 1996.

Hatwall 1986
Y. Hatwall, *Toucher l'Espace*. Lille, Presses Universitaires de Lille, 1986.

Hermon *et al.* 2013
S. Hermon, G. Iannone, M. Fakka, H. Khalaily, G. Avni, et A. Re'em, « Digitizing the Holy — 3D documentation and analysis of the architectural history of the "room of the Last Supper" — The Cenacle in Jerusalem », présenté à *Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, Marseille, 2013.

——— 2005
S. Hermon, F. Niccolucci, et A. D'Andrea, « Some Evaluations of the Potential Impact of Virtual Reality on the Archaeological Scientific Research », présenté à *Virtual reality at Work in the 21st Century*, 2005.

——— 2006
S. Hermon, J. Nikodem, et C. Perlingieri, « Deconstructing the VR – Data Transparency, Quantified Uncertainty and Reliabitlity of 3D Models », *VAST 2006: The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage*, Nicosia, Cyprus, 2006. Proceedings, p. 123-129, 2006.

Hervy 2012
B. Hervy, F. Laroche, J.-L. Kerouanton, et A. Bernard, « Advanced virtual reality visualisation systems based on a meta-model dedicated to historical knowledge », *Third IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications*, 2012.

——— 2014
B. Hervy, *Contribution à la mise en place d'un PLM muséologique dédié à la conservation et la valorisation du patrimoine : Modélisation et intégration de données hétérogènes sur un cycle de vie produit complexe*, Thèse de doctorat, sous la direction de A. Bernard, Université de Nantes, 2014.

Hichri *et al.* 2013a
N. Hichri, C. Stefani, L. De Luca, P. Veron, et G. Hamon, « From point cloud to BIM: a survey of existing approaches », in P*roceedings of the XXIV International CIPA Symposium*, 2013, p. 8.

——— 2013b
N. Hichri, C. Stefani, L. De Luca, et P. Veron, « Review of the "as-buit BIM" approaches », présenté à *3D-ARCH International Conference*, Trento, 2013.

Homan et Homan 2014
D. Homan et S. Homan, « The Interactive Theater of Video Games: The Gamer as Playwright, Director, and Actor », *Comparative Drama*, vol. 48, n° 1, 2014.

Hutabarat *et al.* 2016
W. Hutabarat, J. Oyekan, C. Turner, A. Tiwari, N. Prajapat, X.-P. Gan, et A. Waller, « Combining virtual reality enabled simulation with 3D scanning technologies towards smart manufacturing », présenté à *Winter Simulation Conference (WSC)*, Washington, 2016, doi: 10.1109/WSC.2016.7822314.

Hvass *et al.* 2017
J. Hvass, O. Larsen, K. Vendelbo, N. Nilsson, R. Nordahl, et S. Serafin, « Visual Realism and Presence in a Virtual Reality Game », présenté à *3DTV Conference 2017: Research and Applications in Future 3D Media*, Copenhague, 2017.

ICOMOS 1964
ICOMOS, « Charte Internationale sur la Conservation et la Restauration des Monuments et des Sites (Charte de Venise) ». 1964.

——— 1994
ICOMOS, « The Nara Document on Authenticity ». 1994.

——— 2008
ICOMOS, « The ICOMOS Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites ». 2008.

JCGM 2012
« Vocabulaire internationale de métrologie - Concepts fondamentaux et généraux et termes assocés (VIM) ». 2012.

Jeanson 2020
L. Jeanson, *Apports à la construction d'outillage information pour les études liées au patrimoine*, Thèse de doctorat, sous la direction de A. Bernard, Université de Nantes, 2020.

Jeffrey 2015
S. Jeffrey, « Challenging Heritage Visualisation: Beauty, Aura and Democratisation », *Open Archaeology*, vol. 1, p. 144-152, 2015.

Joanne 2008
P. Joanne, « Une rétrospective de la fabrique de l'ambiance : reconstitution sonore pour la salle du chapitre de l'abbaye de Clairvaux », in *1st International Congress on Ambiances*, Grenoble, 2008, p. 287-292.

Joda *et al.* 2019
T. Joda, G. Gallucci, D. Wismeijer, et N. U. Zitzmann, « Augmented and virtual reality in dental medicine: A systematic review », *Computers in Biology and Medicine*, vol. 108, p. 93-100, 2019.

Joffres *et al.* 2017
A. Joffres, N. Larrousse, S. Pouyllau, M. Puren, C. Riondet, L. Romary, et R. Scopigno, *PARTHENOS - Digital 3D Objects in Art and Humanities: challenges of creation, interoperability and preservation*. White paper. Bordeaux, Archéovision, 2017.

Jogoda 2014
P. Jogoda, « Gaming the humanities », *differencies: A Journal of Feminist Cultural Studies*, vol. 25, n° 1, p. 189-215, 2014.

Kabassi *et al.* 2019
K. Kabassi, A. Amelio, V. Komianos, et K. Oikonomou, « Evaluating Museum Virtual Tours: The Case Study of Italy », *Information*, vol. 10, n° 11, p. 351, 2019.

Kolosova et Hermon 2013
A. Kolosova et S. Hermon, « Metadata Enhanced 3D Content Search for Real-Time Visualization of 3D Digital Assets », présenté à *2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, Marseille, 2013.

Kondo *et al.* 2011
N. Kondo, H. Watanabe, S. Sasaki, Y. Imai, T. Ishii, K. Sato, S. Shiino, *et al.*, « Bringing Regional Heritage Sites Into 3D Virtual Environments: Cost-Free Data Workflow and Multiple 3D Exhibition », présenté à *Computer Applications Quantitative Methods in Archaeology*, Pékin, 2011.

Koszewski *et al.* 2017
K. Koszewski, S. Kowal, J. Slyk, et S. Wrona, « Digital Method for Verifying Archaeological Hypotheses. Medieval Stronghold Under Pułtusk Castle », *Studies in Digital Heritage*, vol. 1, n° 2, 2017.

Krasniewicz 2000
L. Krasniewicz, « Immersive imaging technologies for archaeological research », in *Virtual Reality in Archaeology*, vol. 843, Oxford, Archaeopress, 2000, p. 163-169.

Laroche 2006
F. Laroche, A. Bernard, et M. Cotte, « A new methodology for a new life of old technical machines », présenté à *VRIC - Laval Virtual*, Laval, 2006.

——— 2007
F. Laroche, *Contribution à la Sauvegarde des Objets Techniques Anciens par l'Archéologie Industrielle Avancée. Proposition d'un modèle d'information de référence muséologique et d'une méthode inter-disciplinaire pour la capitalisation des connaissances du Patrimoine technique et industriel*, Thèse de doctorat, sous la direction de A. Bernard et M. Cotte, Université de Nantes, 2007.

——— 2017
F. Laroche, *KLM for Heritage*, Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Nantes, 2017.

——— 2011a
F. Laroche, J.-L. Kerouanton, M. Servières, et A. Bernard, « Un renouveau des pratiques muséographiques grâce au virtuel : un support à des applications pluridisciplinaire en pédagogie active », présenté à *Colloque National AIP Primeca*, Mont-Dore, 2011.

——— 2011b
F. Laroche, M. Servières, D. Lefevre, et J.-L. Kerouanton, « Where Virtual Enhances Physical Mock-Up: A Way to Understand our Heritage », présenté à *ISMAR - research, technology and application in Mixed and Augmented Reality*, Basel, 2011.

——— 2020
F. Laroche, V. Rosato, et P. François, « Patrimoine industriel numérique 3D : Reconstruction de la Forge d'Arthez-d'Asson », *Patrimoine Industriel*, n° 74-75, p. 91-97, 2020.

Laubé *et al.* 2018
S. Laubé, R. Querrec, M.-M. Abiven, et S. Garlatti, « Lab In Virtuo : méthodes pour l'étude et la conservation des paysages culturels industriels », présenté à *Gli Arsenali del Mediterraneo e dell' Atlantico*, Venise, 2018.

——— 2014
S. Laubé, B. Rohou, et S. Garlatti, « Humanités numériques et web sémantique. De l'intérêt de la modélisation des connaissances en histoire des sciences et des techniques pour une histoire comparée des ports de Brest (France) et Mar del Plata (Argentine) », présenté à *1st international conference on Digital Intelligence*, 2014.

Le Corbusier 1923
Le Corbusier, *Vers une Architecture*. Paris,G. Crès et Compagnie, 1923.

Lee *et al.* 2020
B. Lee, D. Brown, B. Lee, C. Hurter, S. Drucker, et T. Dwyer, « Data Visceralization: Enabling Deeper Understanding of Data Using Virtual Reality », *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 26, n° 11, 2020.

Lee 2004
K. M. Lee, « Presence, Explicated », *Communication Theory*, vol. 14, n° 1, p. 27-50, 2004.

Legrand et Wild 2002
R. Legrand et N. Wild, *Regards sur l'opéra-comique, trois siècles de vie théâtrale*. Paris, CNRS Éditions, 2002.

Leichman et Rubellin 2018
J. Leichman et F. Rubellin, « White Paper, NEH Award HAA-255998-17, VESPACE ». 2018.

Lenay *et al.* 2001
C. Lenay, O. Gapenne, et J. Stewart, « The Constitution of Spatiality in Relation to the Lived Body : a Study based on Prosthetic Perception », *On the Emergence and Development of Embodied Cognition*, ICCS 2001, Pékin, 2001.

Lewis 2018
J. R. Lewis, « The System Usability Scale: Past, Present, and Future », *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 34, n° 7, p. 577-590, 2018, doi: 10.1080/10447318.2018.1455307.

Ljolje et Riley 1991
A. Ljolje et M. Riley, « Automatic segmentation and labelling of speech », présenté à *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Toronto, 1991.

London Charter 2009
London Charter, « The London Charter for the computer-based visualisation of cultural heritage ». 2009.

Ma *et al.* 2013
N. Ma, F. Laroche, B. Hervy, et J.-L. Kerouanton, « Virtual conservation and interaction with our cultural heritage: Framework for multi-dimension model based interface », présenté à *Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, Marseille, 2013.

Manuel 2013
A. Manuel, E. Gattet, L. De Luca, et P. Veron, « An approach for precise 2D/3D semantic annotation of spatially-oriented images for in situ visualization applications », in *Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, Marseille, 2013, p. 289-296.

——— 2014
A. Manuel, L. De Luca, et P. Veron, « A Hybrid Approach for the Semantic Annotation of Spatially Oriented Images », *International Journal of Heritage in the Digital Era*, vol. 3, n° 2, p. 305-320, 2014.

——— 2016
A. Manuel, *Annotation sémantique 2D/3D d'images spatialisées pour la documentation et l'analyse d'objets patrimoniaux*, Thèse de doctorat, sous la direction de L. De Luca, Arts et Métiers ParisTech, Aix-en-Provence, 2016.

McCall 2011
J. McCall, *Gaming the Past: Using Video Games to Teach Secondary History*. New-York, Routledge, 2011.

Meski *et al.* 2020
O. Meski, P. François, et F. Laroche, « An in virtuo system linking data corpus to 3D virtual model for industry 4.0 », présenté à *ConVRgence*, Laval, 2020.

Messaoudi *et al.* 2014
T. Messaoudi, A. Manuel, E. Gattet, L. De Luca, et P. Veron, « Laying the foundations for an information system dedicated to heritage building degradation monitoring based on the 2D/3D semantic annotation of photographs », présenté à *EUROGRAPHICS Workshops on Graphics and Cultural Heritage*, Darmstadt, 2014.

Milgram *et al.* 1994
P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, et F. Kishino, « Augmented Reality: A Class of displays on the reality-virtuality continuum », 1994.

Milovanic *et al.* 2017
J. Milovanic, D. Siret, G. Moreau, et F. Miguet, « Enhancing design representational environment to support design learning in the studios », présenté à B*iennial International Conference of the European Architectural Envisioning Association*, Glasgow, 2017.

Montagud *et al.* 2020
M. Montagud, J. Segura-Garcia, A. De Rus, et R. Fayos Jordán, « Towards an Immersive and Accessible Virtual Reconstruction of Theaters from the Early Modern: Bringing Back Cultural Heritage from the Past », présenté à *International Conference on Interactive Media Experiences*, Cornella, 2020, [En ligne]. Disponible sur: https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3391614.3399390.

Morgan 2009
C. L. Morgan, « (Re)Building Çatalhöyük: Changing Virtual Reality in Archaeology », *Archaeologies*, vol. 5, n° 3, 2009.

Ni *et al.* 2020
S. Ni, R. Luo, Y. Zhang, M. Budagavi, A. J. Dickerson, A. Nagar, et X. Guo, « Scan2Avatar: Automatic Rigging for 3D Raw Human Scans », présenté à *ACM SIGGRAPH 2020*, 2020, doi: https://doi.org/10.1145/3388770.3407420.

Nicolas *et al.* 2016
T. Nicolas, R. Gaugne, C. Tavernier, V. Gouranton, et B. Arnaldi, « La tomographie, l'impression 3D et la réalité virtuelle au service de l'archéologie », présenté à *Les Nouvelles de l'archéologie*, Rennes, 2016.

Nikolakopoulos *et al.* 2017
K. Nikolakopoulos, K. Soura, I. Koukouvelas, et N. Argyropoulos, « UAV vs classical aerial photogrammetry for arcaheological studies », *Journal of Archaeological Science*, vol. 14, 2017, doi: https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.09.004.

Nonaka 1991
I. Nonaka, « The Knowledge-Creating Company », *Harvard Business Review*, n° November-December, p. 96-104, 1991.

Odlum 2019
A. Odlum, « Undertaking the impossible with Google Expeditions: Virtual reality and augmented reality experiences in the history classroom », *Teaching History*, vol. 53, n° 4, 2019.

Offenstadt 2017
N. Offenstadt, *L'Historiographie*. Paris, Que Sais-Je, 2017.

Ouamer Ali 2014
M. I. Ouamer Ali, F. Laroche, A. Bernard, et S. Remy, « Toward a methodological knowledge based approach for partial automation of reverse engineering », *Procedia CIRP*, vol. 21, p. 270-275, 2014.

——— 2015
M. I. Ouamer Ali, F. Laroche, S. Remy, et A. Bernard, « Structuration de la connaissance dans le cadre de la rétro-conception de systèmes mécaniques », présenté à C*olloque de l'AIP PRIMECA*, La Plagne, 2015.

——— 2016
M. I. Ouamer Ali, *Proposition d'un modèle produit liant la maquette numérique aux données hétérogènes d'un grand ensemble mécanique*, Thèse de doctorat, sous la direction de A. Bernard, Université de Nantes, 2016.

Paloque-Berges 2016
C. Paloque-Berges, « Les sources nativement numériques pour les sciences humaines et sociales », *Histoire@Politique*, vol. 29, 2016.

Pardoen 2013
M. Pardoen, « Oyez, Oyez ! Le paysage sonore au service du passé : création ou travail scientifique ? », in *Musique et écologies du son. Proposition théoriques pour une écoute du monde*, dir. M. Solomés *et al.* Paris, L'Harmattan, 2013.

Patrão *et al.* 2015
B. Patrão, S. Pedro, et P. Menezes, « How to Deal with Motion Sickness in Virtual Reality », in *Encontro Português de Computação Gráfica e Interação*, 2015, p. 40-46.

Pecchioli *et al.* 2011
L. Pecchioli, M. Carrozzino, F. Mohamed, M. Bergamasco, et T. H. Kolbe, « ISEE: Information access through the navigation of a 3D interactive environment », *Journal of Cultural Heritage*, vol. 12, p. 287-294, 2011.

Pere et Faucher 2008
C. Pere et S. Faucher, « Cluny : de la gestion de données à la réalité augmentée », *Virtual Retrospect*, vol. 1, p. 61-67, 2008.

Pescarin *et al.* 2008
S. Pescarin, L. Calori, C. Camporesi, M. Di Loia, M. Forte, F. Galeazzi, S. Imboden, *et al.*, « Back to 2nd AD A VR on-line experience with Virtual Rome Project. », présenté à *International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage*, Braga, 2008.

Pick *et al.* 2014
S. Pick, S. Gebhardt, B. Weyers, B. Hentschel, et T. Kuhlen, « A 3D Collaborative Virtual Environment to Integrate Immersive Virtual Reality into Factory Planning Processes », présenté à *International Workshop on Collaborative Virtual Environments*, 2014.

Pinson 2007
D. Pinson, « U comme Usage », *Les Cahiers de la Recherche architecturale et urbaine*, n° 20-21, p. 166-169, 2007.

Piumsomboon *et al.* 2017
T. Piumsomboon, Y. Lee, G. Lee, et M. Billinghurst, « CoVAR: A Collaborative Virtual and Augmented Reality System for Remote Collaboration. », New-York, 2017.

Plax 2006
J. A. Plax, « Theatrical Imagery and Visual Conventions », présenté à *CESAR*, 2006, [En ligne]. Disponible sur: https://cesar.huma-num.fr/cesar2/conferences/cesar_conference_2006/Plax_paper06.html.

Poirier-Quinot *et al.* 2013
D. Poirier-Quinot, D. Touraine, et B. Katz, « BlenderCAVE: A multimodal scene graph editor for Virtual Reality », in *International Conference on Auditory Display*, Lodz, 2013, p. 223-230.

Pérouse de Montclos 2011
Pérouse de Montclos Jean-Marie, *Architecture : Description et vocabulaire méthodiques. Paris: Éditions du Patrimoine*, Centre des Monuments Nationaux, 2011.

Procureur 2019
S. Procureur, « Quand les muons cosmiques explorent le cœur de la matière », *Reflets de la physique*, n° 63, p. 60-64, 2019.

Quantin 2016
M. Quantin, F. Laroche, et J.-L. Kerouanton, « Récit historique et objet technique : outil de valorisation mutuelle », *Les musées scientifiques et techniques innovent*, vol. 5, p. 93-120, 2016.

——— 2017a
M. Quantin, B. Hervy, F. Laroche, et J.-L. Kerouanton, « Haruspex, Outil de Gestion de Connaissances non Structurées », *Archéologies Numériques*, 2017.

——— 2017b
M. Quantin, F. Laroche, N. André, et F. Villedieu, « Rétroconception et maquettage d'un bâtiment mécanique de la Rome antique », présenté à *Colloque National AIP-Priméca*, La Plagne, 2017.

——— 2018
M. Quantin, *Proposition de chaînage des connaissances historiques et patrimoniales : Approche multi-échelles et multi-critères de corpus textuels*, Thèse de doctorat, sous la direction de A. Bernard, Université de Nantes, 2018.

Reverdy-Médélice 2012
I. Reverdy-Médélice, *La valorisation du patrimoine : problèmes méthodologiques, limites et enjeux de la restitution archéologique et historique*, Thèse de doctorat, sous la direction de J.-L. Lamboley, Université de Grenoble, 2012.

Riches *et al.* 2019
S. Riches, S. Elghany, P. Garety, M. Rus-Calafell, et L. Valmaggia, « Factors Affecting Sense of Presence in a Virtual Reality Social Environment: A Qualitative Study », *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, vol. 22, n° 4, 2019.

Riva 2009
G. Riva, « Virtual reality: an experiential tool for clinical psychology », B*ritish Journal of Guidance & Counselling*, vol. 37, n° 3, 2009, [En ligne]. Disponible sur: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03069880902957056.

Rosato *et al.* 2020
V. Rosato, P. François, et F. Laroche, « Le Virtuel au service du Patrimoine : la reconstruction 3D de la forge d'Arthez-d'Asson », *Revue d'histoire industrielle des Pyrénées occidentales*, 2020.

Rua et Alvito 2011
H. Rua et P. Alvito, « Living the past: 3D models, virtual reality and game engines as tools for supporting archaeology and the reconstruction of cultural heritage in the case-study of the Roman villa of Casal de Freiria », *Journal of Archaeological Science*, n° 38, 2011.

Samaan 2016
M. Samaan, « La photogrammétrie rapprochée au service de l'archéologie préventive », Thèse de doctorat, Université Paris-Est, Paris, 2016.

Sammour 2017
K. Sammour, *Les machines de siège romaines : restitution virtuelle, contextualisation et médiation*, Thèse de doctorat, sous la direction de Ph. Fleury, Normandie Université, Caen, 2017.

Samuel *et al.* 2016
B. Samuel, D. Lederle-Ensign, M. Treanor, N. Wardrip-Fruin, J. McCoy, et A. Reed, « Playing the Worlds of Prom Week », in *Narrative Theory, Literature, and New Media: Narrative Minds and Virtual Worlds*, New-York, Routledge, 2016.

Seyama et Nagayama 2007
J. Seyama et R. Nagayama, « The Uncanny Valley: Effect of Realism on the Impression of Artificial Human Faces », *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 16, n° 4, p. 337-351, 2007, doi: https://doi.org/10.1162/pres.16.4.337.

Shehade et Stylianou-Lambert 2020
M. Shehade et T. Stylianou-Lambert, « Virtual Reality in Museums: Exploring the Experiences of Museum Professionals », *applied sciences*, vol. 10, n° 11, p. 4031, 2020.

Sierra *et al.* 2017
A. Sierra, G. de Prado, I. Ruiz Soler, et F. Codina, « Virtual Reality And Archaeological Reconstruction: Be There, Back Then », présenté à *MW17: Museums and the Web 2017*, Cleveland, 2017.

Singh *et al.* 2020
S. Singh, Z. Ma, D. Giunchi, et A. Steed, « Real-time Collaboration Between Mixed Reality Users in Geo-referenced Virtual Environment », présenté à *International Symposium of Mixed and Augmented Reality Conference*, 2020.

Stanley-Price 2009
N. Stanley-Price, « The Reconstruction of Ruins: Principles and Practice », in *Conservation: Principles, Dilemmas and Uncomfortable Truths*, Elsevier, 2009.

Thery *et al.* 2017
D. Thery, B. Postma, et B. Katz, « Influence des visuels sur l'évaluation subjective d'auralisations dans un contexte de réalité virtuelle », présenté à *Conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, Poitiers, 2017.

Thi Porter *et al.* 2016
S. Thi Porter, M. Roussel, et M. Soressi, « A Simple Photogrammetry Rig for the Reliable Creation of 3D Artifact Models in the Field », *Advances in Archaeological Practice*, vol. 4, n° 1, 2016.

Tournon-Valiente *et al.* 2019
S. Tournon-Valiente, V. Grimaud, B. Dutailly, S. Eusèbe, M. Quantin, M. Chayani, et X. Granier, « Conservatoire National des Données 3D SHS », présenté à *MuséoHub 7 3D et Patrimoines, quels impacts sur la recherche? Quelles modalités pour la médiation?*, Saint-Omer, 2019.

Turcot et Martin 2015
L. Turcot et J.-C. Martin, *Au cœur de la Révolution. Les leçons d'histoire d'un jeu vidéo*. Paris, Vendémiaire, 2015.

Vergnieux 2011
R. Vergnieux, « Archaeological research and 3D models (Restitution, validation and simulation) L'usage scientifique des modèles 3D en archéologie. De la validation à la simulation. », *Virtual Archaeology Review*, vol. 2, n° 4, 2011.

Veyne 1971
P. Veyne, *Comment on écrit l'histoire*. Paris, Éditions du Seuil, 1971.

Vidal et Laroche 2016
G. Vidal et F. Laroche, « Modélisation du patrimoine : usages et enjeux des applications numériques », présenté à *Journées d'études TIC.IS - TIC Information et stratégies*, Bruxelles, 2016.

——— 2017
G. Vidal et F. Laroche, « Vers des applications numériques "durables" pour les institutions patrimoniales ». 2017.

Vilbig *et al.* 2020
J. Vilbig, V. Sagan, et C. Bodine, « Archaeological surveying with airborne LiDAR and UAV photogrammetry: A comparative analysis at Cahokia Mounds », *Journal of Archaeological Science*, vol. 33, 2020.

Vlachopoulos et Makri 2017
D. Vlachopoulos et A. Makri, « The effect of games and simulations on higher education: a systematic literature review », *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 14, n° 22, 2017.

Viollet-le-Duc 1854
Viollet-le-Duc Eugène, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*, 10 vol. Paris, A. Morel, 1854.

Wang *et al.* 2019
X. Wang, L. Besançon, F. Guéniat, M. Sereno, M. Ammi, et T. Isenberg, « A Vision of Bringing Immersive Visualization to Scientific Workflows », présenté à *The ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - Workshop on Interaction Design & Prototyping for Immersive Analytics*, Glasgow, 2019.

Wu *et al.* 2019
T.-H. Wu, F. Wu, C.-J. Liang, Y.-F. Li, C.-M. Tseng, et S.-C. Kang, « A virtual reality tool for training in global engineering collaboration », *Universal Access in the Information Society*, vol. 18, p. 243-255, 2019.

Zadeh 1965
L. A. Zadeh, « Fuzzy Sets », *Information and Control*, n° 8, p. 338-353, 1965.

Histoire des théâtres forains parisiens

Nous adoptons dans cette partie de la bibliographie les normes de sciences humaines afin de se conforter aux usages.

Aragones-Riu 2008a
Aragonès-Riu Núria, « La Foire Saint-Germain représentée. Images, pièges et fausses-pistes. », in Iconographie théâtrale et genres dramatiques, Mélanges offerts à Martine de Rougemont, Paris, Presses Sorbonne Nouvelle, 2008.

——— 2008b
Aragonès-Riu Núria, *L'Iconographie des petits théâtres au dix-huitième siècle en France*, Thèse de doctorat, sous la direction de Martine de Rougemont, Paris III, 2008.

Archives Nationales 1958
Archives Nationales, « Catalogue général des cartes, plans et dessins d'architecture. Tome I ». 1958, Consulté le : 4 août, 2020. [En ligne]. Disponible sur: https://francearchives.fr/findingaid/3e39481216d9fa2169ae0222a74648fa236bf0e9.

Aressy *et al.* 2014
Aressy Lorraine, Caron Bertrand, de Colbert Henry, Didier Morgane, et Palouzié Hélène, *Le monde en perspective. Vues et récréations d'optique au siècle des Lumières*. Montpellier, Direction régionale des affaires culturelles du Languedoc-Roussilon, 2014.

Arnaud 2008
Arnaud Jean-Luc, *Analyse spatiale, cartographie et histoire urbaine*. Marseilles, Éditions Parenthèses, 2008.

Beaucé 2011
Beaucé Pauline, *Poétique de la parodie dramatique d'opéra au XVIIIe siècle en France (1709-1791)*, Thèse de doctorat, sous la direction de Françoise Rubellin, Université de Nantes, 2011.

——— 2013
Beaucé Pauline, *Parodies d'opéra au siècle des Lumières : Évolution d'un genre comique*. Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2013.

——— 2017
Beaucé Pauline, « Jouer le double jeu : pièces par écriteaux et autoparodies théâtrales au xviiie siècle en France », *Horizons/Théâtre*, n° 8-9, p. 42-53, 2017.

——— 2019
Beaucé Pauline, « La foire Saint-Ovide de Paris : exploration d'un espace de spectacles à la fin du xviiie siècle », *Identités et circulation des spectacles forains : musique, théâtre, danse, acrobaties et marionnettes*, 1660-1830 - Colloque International, Charleville-Mézières, 20 mars 2019, à paraître.

Beaucé et Rubellin 2015
Beaucé Pauline et Rubellin Françoise (dir.), *Parodier l'opéra : pratiques, formes et enjeux*, actes du colloque ANR Nantes 29-31 mars 2012. Montpellier, Éditions Espaces 34, 2015.

Beaucé et Triolaire 2017
Beaucé Pauline et Triolaire Cyril, « Les Wauxhalls de province en France. Nouveaux espaces hybrides de divertissement et de spectacle d'une ville en mutation », in *Dix-huitième siècle*, n°49, 2017.

Bonnassies 1875
Bonnassies Jules, *Les Spectacles forains et la Comédie-Française*. Paris, E. Dentu, 1875.

Bouin et Chanut 1980
Bouin Philippe et Chanut Christian-Philippe, *Histoire française des foires et des expositions universelles*. Paris, Baudouin, 1980.

Campardon 1877
Campardon Émile, *Les spectacles de la foire : théâtres, acteurs, sauteurs et danseurs de corde, monstres, géants, nains, animaux curieux ou savants, marionnettes, automates, figures de cire et jeux mécaniques des foires Saint-Germain et Saint-Laurent, des boulevards et du Palais-Royal, depuis 1595 jusqu'à 1791*, 2 vol. Paris, Berger-Levrault et Cie, 1877.

Chahine 2014
Chahine Loïc, *Louis Fuzelier, le théâtre et la pratique du vaudeville : établissement et jalons d'analyse d'un corpus*, Thèse de doctorat, sous la direction de Françoise Rubellin, Université de Nantes, 2014.

Clarke 2001
Clarke Jan, « The Hôtel Guénégaud Auditorium according to the Theatre's Account Books », *French 'Classical' Theatre Today: Teaching, Research, Performance*, dir. Tomlinson Philip. Amsterdam, Rodopi.

——— 2011
Clarke Jan, « L'Éclairage », *La Représentation théâtrale en France au XVII^e siècle*, dir. Pasquier Pierre et Surgers Anne. Paris, Armand Colin, 2011.

——— 2017a
Clarke Jan, « Back to Black: Variable Lighting Levels on the Seventeenth-Century French Stage, Lavoisier and the Enigma of La Pierre philosophale », *Insights*, vol. 10, n°2, 2017.

——— 2017b
Clarke Jan, « Problematic images: some pitfalls associated with the use of iconography in seventeenth-century French theatre history », *Theatre Journal*, n° 69, p. 535-553, 2017.

Clément et La Porte 1775
Clément Jean Marie Bernard et de La Porte Joseph, *Anecdotes dramatiques*. Paris, Veuve Duchesne, 1775.

Engelhard 1880
M. Engelhard, *Atlas des anciens plans de Paris : Reproduction en fac-similé des originaux les plus rares et les plus intéressants pour l'histoire de la topographie parisienne, avec une table analytique présentant la légende explicative de chaque plan et un appendice consacré aux documents annexes*. Paris, Dujardin, 1880.

Faul 2013
Faul Michel, *Les Tribulations de Nicolas-Médard Audinot, fondateur du théâtre de l'Ambigu-Comique*. Lyon, Symétrie, 2013.

Fleury 2010
Fleury Raphaelle, *La Marionnette traditionnelle*. Lyon, Musée Gadagne, 2010.

Gaulle 1839
Gaulle Julien de, *Nouvelle Histoire de Paris et de ses environs*, vol. 3. Paris, P. M. Pourrat Frères, 1839.

Gherardi 1741
Gherardi Evaristo, *Le Théâtre italien de Gherardi, ou le recueil général de toutes les comédies et scènes françaises jouées par les comédiens italiens du roi, pendant tout le temps qu'ils ont été au service. Enrichi d'estampes en taille-douce à la tête de chaque comédie, et des airs gravés-notés à la fin de chaque volume*, vol. VI. Paris, Briasson, 1741.

Hillairet 1960
Hillairet Jacques, *Dictionnaire historique des rues de Paris*, Éditions de Minuit, 2 vol. Paris, 1960.

Komlos 2003
Komlos John, « Histoire anthropométrique de la France de l'Ancien Régime », *Histoire Économie et Société*, n° 22, vol. 4, 2003.

Lagrave 1972
Lagrave Henri, *Le Théâtre et le public à Paris*, de 1715 à 1750. Paris, Librairie C. Klincksieck, 1972.

Lasalle 1875
Lasalle Albert de, *Les treize salles de l'Opéra*. Paris, Librairie Sartorius, 1875.

Le Sage et D'Orneval 1721
Le Sage et D'Orneval, *Le Théâtre de la Foire, ou l'Opéra-Comique. Contient les meilleures pièces qui ont été représentées aux foires de Saint-Germain et de Saint-Laurent*, vol. I. Paris, Etienne Ganeau, 1721.

Leichman 2021a
Leichman Jeffrey, « La Foire aux reenactments : problématiques de la restitution d'un théâtre non-officiel du XVIII^e^ siècle par le biais du jeu video » in *Reenactment/Reconstitution: Refaire ou déjouer l'histoire ?*, dir. Doudet Estelle et Poirson Martial, 2021 [à paraître].

——— 2021b
Leichman Jeffrey, « Video Games as Cultural History: Procedural Narrative and the Eighteenth-Century Fair Theatre » in *Modes of Play*, dir. F. Falaky and R. McGinnis, 2021 [à paraître].

Lemoine-Bouchard 2010
Lemoine-Bouchard Nathalie, « La Foire Saint-Germain de Louis-Nicolas van Blarenberghe à la Wallace Collection », *La Lettre de la Miniature*, n° 5, p. 2-7, 2010.

Maillet 2004
Maillet Monique, *Catalogue Raisonné des œuvres des Van Blarenberghe : 1680-1826*. Lille, Soprepart, 2004.

Manne et Ménétrier 1869
Manne E. D. et Ménétrier C., *Galerie Historique des Comédiens de la Troupe de Nicolet*. Lyon, Louis Perrin, 1869.

Martin 2002
Martin Isabelle, *Le Théâtre de la Foire, des tréteaux aux boulevards*. Oxford, Voltaire Foundation, 2002.

Martinuzzi 2007
Martinuzzi Paola, *Le "pièces par écriteaux" nel teatro della Foire (1710-1715). Modi di una teatralità*.Venezia, Università Ca' Foscari, 2007, pp. 331.

Mayeur de Saint-Paul 1782
Mayeur de Saint-Paul François-Marie, *Le Chroniqueur désœuvré, ou L'Espion du boulevard du Temple , contenant les annales scandaleuses & véridiques des directeurs, acteurs & saltimbanques du boulevard, avec un résumé de leur vie & mœurs par ordre chronologique*. Londres, 1782.

Méjanès *et al.* 2006
Méjanès Jean-François, Château-Thierry Irène de, et Maillet-Chassagne Monique, *Les Van Blarenberghe, des reporters du XVIII^e^ siècle*. Paris, Musée du Louvre, 2006.

Mirabeau 1834
Mirabeau Victor Riquetti de, « Mémoire du Marquis de Mirabeau », *Revue Rétrospective ou Bibliothèque Historique content des Mémoires et documents authentiques, inédits et originaux pour servir à l'histoire proprement dite, à la biographie, à l'histoire de la littérature et des arts.*, vol. IV, p. 366-368, 1834.

Parfaict 1743a
Parfaict Claude et François, *Mémoires pour servir à l'histoire des spectacles de la Foire*, vol. 1, 2 vol. Paris, Briasson, 1743.

——— 1743b
Parfaict Claude et François, *Mémoires pour servir à l'histoire des spectacles de la Foire*, vol. 2, 2 vol. Paris, Briasson, 1743.

Parfaict et Godin d'Abguerbe 1756
Parfaict Claude, Parfaict François et Godin d'Abguerbe Quentin, *Dictionnaire des Théâtres de Paris*, 6 vol. Paris, chez Rozet, 1756.

Paul-Marcetteau 1983a
Paul-Marcetteau Agnès, *Les théâtres des foires Saint-Germain et Saint Laurent dans la première moitié du XVIII^e siècle (1697-1762)*, Thèse pour le diplôme d'archiviste paléographe, École des Chartes, 1983.

——— 1983b
Paul-Marcetteau Agnès, « Les Auteurs du théâtre de la foire à Paris au XVIII^e siècle », B*ibliothèque de l'École des Chartes*, vol. 2, n° 141, 1983.

Porot 2011
Porot Bertrand, « Aux origines de l'opéra-comique : Étude musicale du Théâtre de la Foire de Lesage et d'Orneval (1713-1734) », in *The Opéra-comique in the XVIII^th and XIX^th Centuries*, Brepols Publishers, 2011.

——— 2015a
Porot Bertrand, « L'organisation d'un spectacle de marionnettes en 1722 : à propos d'un fonds méconnu de Fuzelier » in *Parodier l'opéra : pratiques, formes et enjeux*, dir. Beaucé Pauline et Rubellin Françoise. Montpellier, Éditions Espaces 34, 2015.

——— 2015b
Porot Bertrand, « Duos et couples à l'Opéra-Comique dans la première moitié du XVIII^e siècle », in *Musiciennes en duo, Compagne, fille, sœur d'artistes*, dir. Giron-Panel Caroline, Granger Sylvie, Legrand Raphaëlle, Porot Bertrand. Presses universitaires de Rennes, 2015.

Prou 2019
Prou Fanny, *Pour une nouvele historiographie foraine. Constitution, analyse et édition d'un répertoire (1717-1727)*, Thèse de doctorat, sous la direction de Françoise Rubellin, Université de Nantes, 2019.

Rabreau 2008
Rabreau Daniel, *Apollon dans la ville. Essai sur le théâtre et l'urbanisme à l'époque des Lumières*. Paris, Éditions du Patrimoine, Centre des Monuments Nationaux, 2008.

Radicchio et Sajous D'Oria 1990
Radicchio Giuseppe et Sajous D'Oria Michèle, *Les Théâtres de Paris pendant la Révolution*. Fasano, Elemond periodici, 1990.

Ravel 2002
Ravel Jeffrey S., « Le théâtre et ses publics : pratiques et représentations du parterre à Paris au XVIII^e siècle », *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, vol. 49, n° 3, 2002.

Regnard 1810
Regnard Jean-François, *Œuvres complètes de Regnard, avec des avertissements et des remarques sur chaque pièce*, par Garnier Charles-Georges-Thomas, vol. VI. Paris, Lefèvre, 1810.

Rougemont 1988
Rougemont Martine de, *La Vie théâtrale en France au 18^e siècle*. Paris-Genève, Champion-Slatkine, 1988.

Rizzoni 2010
Rizzoni Nathalie, « Inconnaissance de la Foire », in *L'Invention des genres lyriques français et leur redécouverte au XIX^e siècle*, dir. Terrier Agnès et Dratwicki Alexandre. Lyon, Symétrie, 2010.

Roubo 1782
Roubo, *L'Art du Layetier.* Paris, Moutard, 1782.

Rubellin 2005a
Rubellin Françoise (dir.), *Théâtre de la Foire. Anthologie de pièces inédites 1712-1736*. Montpellier, Éditions Espaces 34, 2005.

——— 2005b
Rubellin Françoise (en collaboration avec Laure Thomsen), « Redécouvrir les théâtres de la Foire », *Revue 303*, numéro spécial Théâtre et danse, mai 2005.

——— 2007
Rubellin Françoise (dir.), *Pyrame et Thisbé, un opéra au miroir de ses parodies (1726-1770)*. Montpellier, Éditions Espaces 34, 2007.

——— 2008
Rubellin Françoise, « Images of Theatrical Rivalry: Form and Function of the Fair Theater's Engraved Frontispieces », présenté à CESAR, Williamstown, 2008.
En ligne : https://cesar.huma-num.fr/cesar2/conferences/conference_2008/rubellin_08.html.

——— 2009
Rubellin Françoise, « Du petit Polichinelle au grand opéra : scénographie imaginaire des hiérarchies théâtrales sur les scènes foraines », in *Écrire en mineur au XVIIIe siècle*, dir. Christelle Bahier-Porte et Régine Jomand-Baudry, Editions Desjonquères, 2009.

——— 2010a
Rubellin Françoise, « Airs populaires et parodies d'opéra : jeux de sens dans les vaudevilles aux théâtres de la Foire et à la Comédie-Italienne », in *L'Invention des genres lyriques français et leur redécouverte au XIXe siècle*, dir. Terrier Agnès et Dratwicki Alexandre. Lyon, Symétrie, 2010.

——— 2010b
Rubellin Françoise, « L'écriture des lazzi dans le théâtre forain au XVIIIe siècle », *Revue d'histoire du théâtre*, n° 245-246, 2010.

——— 2011
Rubellin Françoise, *Atys burlesque, parodies de l'opéra de Quinault et Lully à la Foire et à la Comédie-Italienne, 1726-1738*, Montpellier, Éditions Espaces 34, 2011.

——— 2012
Rubellin Françoise, « Écrire pour tous les théâtres : le cas singulier de Louis Fuzelier », in *L'Opéra de Paris, la Comédie-Française et l'Opéra-Comique (1672-2010): approches comparées*, dir. Sabine Chaouche, Denis Herlin et Solveig Serre. Paris, Etudes et rencontres de l'École des Chartes, 2012.

——— 2017
Rubellin Françoise, « Musique et discours sur la musique dans le répertoire des marionnettes foraines sous l'Ancien Régime », in *La Double Séance. La musique sur la scène théâtrale et littéraire*, dir. Michela Landi. Florence, Firenze University Press, 2017.
En ligne : http://www.fupress.com/catalogo/la-double-seance/3554

——— 2018
Rubellin Françoise, « Historiographie des théâtres de la Foire : pour en finir avec le populaire ? », *Cahiers de l'Association internationale des études françaises*, vol. 70, p. 209-229, 2018.

——— 2020a
Rubellin Françoise, « Le théâtre du XVIIIe siècle et les humanités numériques », in *Espaces des théâtres de société. Définitions, enjeux, postérité*, dir. Valentina Ponzetto et Jennifer Ruimi, avec la collaboration de Christophe Schuwey, Presses Universitaires de Rennes, 2020.

——— 2020b
Rubellin Françoise, « Le théâtre du XVIIIe siècle et les humanités numériques », in *Espaces des théâtres de société. Définitions, enjeux, postérité*, dir. Valentina Ponzetto et Jennifer Ruimi, avec la collaboration de Christophe Schuwey, Presses Universitaires de Rennes, 2020.

——— 2020c
Rubellin Françoise, « De la réalité matérielle à la réalité virtuelle : nouvelles sources et nouveau regard sur les marionnettes des théâtres de la Foire. La Scène », in *Représentations(s). Cultures visuelles des spectacles marginaux (XVIIIe-XIXe siècles)*, dir. Camilla Murgia, Valentina Ponzetto, Jennifer Ruimi, Lausanne, à paraître.

Rubellin et François 2018
Rubellin Françoise et François Paul, « Le théâtre du XVIIIe siècle, plus vivant que jamais. », *The Conversation*, 2018.
En ligne : https://theconversation.com/le-theatre-du-xviii-siecle-plus-vivant-que-jamais-104029

Rubellin et Raschia 2020
Rubellin Françoise et Raschia Guillaume, « Redécouvrir les Théâtres de la Foire et la Comédie-Italienne avec les bases THEAVILLE et RECITAL », *Revue d'historiographie du Théâtre*, n° 5, septembre 2020.
En ligne : https://sht.asso.fr/redecouvrir-les-theatres-de-la-foire-et-la-comedie-italienne-avec-les-bases-theaville-et-recital/

Ruimi 2015
Ruimi Jennifer, *La Parade de société au XVIIIe siècle. Une forme dramatique oubliée*. Paris, Champion, 2015.

Sajous D'Oria 2007
Sajous D'Oria Michèle, *Bleu et Or. La scène et la salle en France au temps des Lumières*. 1748-1807. Paris, CNRS Éditions, 2007.

Sakhnovskaia-Pankeeva 2013
Sakhnovskaia-Pankeeva Anastasia, *La naissance des théâtres de la Foire : influence des Italiens et constitution d'un répertoire*, Thèse de doctorat, sous la direction de Françoise Rubellin, Université de Nantes, 2013.

——— 2014
Sakhnovskaia-Pankeeva Anastasia, « Le pantin railleur : Polichinelle dans les parodies d'opéra représentées par les marionnettes de Nicolas I Bienfait » in *Pratiques du timbre et de la parodie d'opéra en Europe (XVIe - XIXe siècles)*, dir. Le Blanc et Schneider. Zürich, Hildesheim – New York, G. Olms, 2014.

Table des matières

CHAPITRE I. Introduction 5

Contexte 7
Les laboratoires d'accueil 7
Le LS2N 7
Le LAMo 7
Le projet VESPACE 8

Contribution scientifique 10

CHAPITRE II. Quels publics, quels besoins ? 13

Mission archéologique de Belvoir 15
Restitution de la chapelle castrale 15
Enseignements 17

Mission archéologique de Plinthine 18
Restitution du fouloir saïte 18
Enseignements 20

Mission des forges de Nay 21
Numérisation et restitution 21
Enseignements 23

Mission de numérisation de la cale de La Ciotat 24
Numérisation, gestion des données et visualisation 24
Enseignements 26

Séance de travail en réalité virtuelle à l'Opéra de Nantes 27
Visualisation en réalité virtuelle 27
Enseignements 29

Dispositif immersif de groupe 30
Un spectacle comme au XVIII^e siècle 30
Enseignements 34

Un cours en réalité virtuelle 35
Un continuum pédagogique de la réalité à la réalité virtuelle 35
Enseignements 37

Besoins et publics identifiés 38

CHAPITRE III. État de l'art théorique, expérimental et technologique 41

La restitution patrimoniale 43
Conservation du patrimoine 43
Restitution du patrimoine 46
Restitution ou reconstruction ? 46
Restitution informatique 47

La réalité virtuelle : technologies et concepts 49
Technologies d'immersion en réalité virtuelle 50
Dispositifs de sortie 51
Dispositifs SID 51
Dispositifs HMD 52
Dispositifs sensoriels 55
Dispositifs d'entrée 56
Manettes 56
Dispositifs de navigation 57
Dispositifs de tracking 57
Concepts de l'immersion en réalité virtuelle 58
Interaction 58
Immersion et présence 59
Réalisme 60
Avatars et personnages virtuels 61
Pistes de recherche en lien avec nos problématiques 62
Interaction et collaboration 62
Annotation 64

Numérisation, modélisation et visualisation 3D pour la recherche 66
Numérisation 66
Acquisition des données 67
Photogrammétrie 67
Lasergrammétrie, tomographie et lumière structurée 69
Données géomatiques, géophysiques 71
Modélisation automatique à partir de nuages de points et BIM 72
Annotation et photogrammétrie 72
Stockage et partage des données 73
Modélisation et hypothèses 73
Réalisation d'hypothèses 3D de restitution 74
Hypothèses et fiabilité 74
Hypothèse et réalité virtuelle 76
Simulation et modélisation de mécanismes 78
Hypothèses diachroniques 79
Restitution des sens 81
Modélisation et connaissances 83
Construction, structuration de corpus 83
Lier connaissances et modèle 3D 85

Réalité virtuelle pour l'obtention de connaissances 86
Visualisation de données archéologiques 87

Visualisation et interaction pour la diffusion et la médiation 89
Susciter l'engagement pour l'éducation 89
Serious Games 90
Réalité virtuelle en classe 92
Musées et réalité virtuelle 93
Exemples d'usages de la 3D pour la médiation dans les musées 93
Réalité virtuelle pour la médiation 95

Conclusion et problématique 98

CHAPITRE IV. Une méthode : la rétro-architecture 101

Hypothèses et concepts 103
Une méthode centrée sur les spécificités de l'architecture 103
La question de l'usage 103
Le sensible 105
Une méthode adaptée au travail des historiens et archéologues 105
Les sources et leur importance pour les historiens 106
Archéologie et archéologie du bâti 107
Une méthode s'appuyant sur la troisième dimension 107

Vers une rétro-architecture, définition 109

Décomposition de la méthode 111
Objectifs et propos de la restitution 111
Collecte des documents 113
Numérisation 114
Stockage et consultation 115
Contextualisation des documents et du projet 115
Recoupement et analyse 117
Modélisation 118
Gestion de l'incertitude 119
Attitude face à l'incertitude 120
Affichage de l'incertitude 122
Visite virtuelle par les experts 122

CHAPITRE V. Application de la méthode : un théâtre de marionnettes à la Foire Saint-Germain 127

La Foire Saint-Germain au XVIII^e^ siècle 129
L'espace de la Foire Saint-Germain 129

Les bâtiments de la Foire Saint-Germain 133
Les bâtiments vus par les graveurs des plans de Paris : 1550-1790 133
Les bâtiments vus par les architectes et les comptables 142
Premier groupe 143
Deuxième groupe 147
Troisième groupe 151
Quatrième groupe 152
Les bâtiments vus par les artistes : 1698-1789 157
Les frontispices et miniatures 158
Les représentations de l'incendie 163
La Foire fantasmée 169

Lieux et genres des spectacles de la Foire Saint-Germain 175
Le paysage théâtral forain et les lieux de spectacle de Paris aux XVII^e^ et XVIII^e^ siècles 176
Entrepreneurs et lieux de spectacles à la Foire Saint-Germain 180
De la naissance des spectacles forains à 1725 180
Jeu de paume de Cercilly à la Fleur-de-Lys 181
Jeu de paume de Milan 181
Jeu de paume du Dauphin 181
Jeu de paume d'Orléans 182
Jeu de la Croix Blanche 184
Jeu de Paume de Bel-Air 184
Les trois loges du préau 185
Le jeu des Victoires 186
La loge Blampignon 188
La troisième loge du préau 189
Les autres lieux de spectacles 190
L'écrasante célébrité de l'Opéra-Comique : 1726-1762 191
Les bâtiments de l'Opéra-Comique 191
Jeu de Paume de l'Étoile (1726-1734) 191
Salle de la rue de Seine (1734) 192
Salle du cul-de-sac des Quatre Vents (1735 - 1762) 193
Autres jeux et emplacements 193
Les spectacles après l'incendie : 1763-1791 194
Les salles d'Audinot à la Foire 195
La salle de Nicolet ou « salle Restier » 195
Wauxhall de la Foire Saint-Germain 197
Autres salles et emplacements 197
Genres des spectacles forains et contraintes architecturales 198
Sauteurs, danseurs de corde, voltigeurs et pantomimes 199
Marionnettes 200
Représentations de théâtre d'acteurs 203
Les parades 204

Les écriteaux 204
L'opéra-comique 205
Conclusion de l'étude historique de la Foire Saint-Germain 206

Modélisation d'un théâtre de marionnettes 208
Une trace de l'usage d'un lieu : la miniature 208
Les Van Blarenberghe et Louis-Nicolas 208
La boîte à priser et sa miniature 209
Création du modèle 214
Positionnement et architecture générale 214
Le castelet, le mobilier et la décoration 218
Techniques de modélisation et textures 219
Incertitude et objet du modèle 220
Les murs de la salle et leur décor 221
La façade du castelet et son éclairage 223
La structure du castelet et le décor 226
L'apport des experts à l'analyse des usages 228
Enjeux techniques 228
Retours d'immersions 231
Le projet d'un spectacle sur la scène 232

CHAPITRE VI. Un outil : PROUVÉ 239

Concepts et objectifs 241
Publics et attentes 241
Pouvoir consulter les sources 241
Faire de nouvelles découvertes 242
Annoter le modèle 3D 243
Produire des nouvelles données nativement numériques 244
Être le support d'une théorie ou d'une démonstration 244
Être ludique 245
Permettre une visite guidée 245
Capture des connaissances tacites 246
Les connaissances tacites 246
Expression et capture des connaissances tacites en réalité virtuelle 248

Fonctionnement technique 250
Vue d'ensemble 250
Omeka et l'environnement côté serveur 251
Concepts de base d'Omeka 252
Adaptation d'Omeka pour PROUVÉ 254
L'API REST 256
Unity et l'environnement côté client 257
Les différentes briques de PROUVÉ sur Unity 257

Interprétation des données de l'API REST 258
Identification des objets virtuels sélectionnables 260
Unity et l'interface utilisateur 261
L'interface de SteamVR 262
Sélectionner et pointer : la métaphore du laser 263
Interface de visualisation des informations 263

La télémétrie dans PROUVÉ 268
Données enregistrées 268
Utilisation de la télémétrie côté client 269
Utilisation de la télémétrie côté serveur 270
Futurs potentiels 272

PROUVÉ et le théâtre de marionnettes 274
Les objets, leurs alias et leurs sources 274
Le propos derrière la visite du théâtre de marionnettes 274
Objets et alias choisis 275
Le spectateur 275
L'éclairage 277
Les marionnettes 278
La conception d'une expérience utilisateur 278
1) Conditionnement de l'utilisateur 279
2) Familiarisation de l'utilisateur 280
3) Immersion de l'utilisateur 281
4) Questionnaire 281
5) Revue des données 283
Retours d'expériences 284
Dépouillement du System Usability Scale 284
Dépouillement du reste du questionnaire 285
Pistes d'amélioration 286

CHAPITRE VII. Application et validation : le théâtre d'Audinot à la Foire Saint-Germain de 1772 289

Un jeu d'archives complexe 291
Description générale du fonds 291
Attribution 292
Proposition de correction et nouvelle subdivision 294
Détails des projets du fonds 295
FSG-M, « Foire Saint-Germain - Marionnettes » 295
BT-PRO1, « Boulevard du Temple - Projet 1» 298
BT-PRO2, « Boulevard du Temple - Projet 2 » 300
FSG-APS, « Foire Saint-Germain, Avant-projet sommaire » 302
FSG-APD, « Foire Saint-Germain, Avant-projet définitif » 304

BT-MOD1, « Boulevard du Temple, Modification 1 » 306
FSG-GUI, « Foire Saint-Germain, rue Guisarde » 307
FSG-PRE, « Foire Saint-Germain, Préau » 309
BT-MOD2, « Boulevard du Temple, Modification 2 » 310
FSO, « Foire Saint-Ovide » 312
Filiation des projets 313

Modélisation d'un théâtre pour la Foire Saint-Germain de 1772 320
Modélisation structurelle 321
Plans du projet 321
Principes de modélisation 324
Difficultés de modélisation et incohérences 325
Interprétation à partir de la maquette virtuelle 329
Implantation et morphologie générale 329
Organisation intérieure et jauge 329
Machineries 330
Visite immersive 332
Conception des espaces en réalité virtuelle 332
La maquette à échelle réduite 332
Le projet de théâtre à l'échelle 1 333
Retours des experts 334
Modélisation des décors et des ambiances 335
Modèle complet non texturé 335
Couleurs et textures d'un théâtre au XVIII^e siècle 336
Garde-corps, médaillons et plafond 338
Garde-corps 338
Médaillons 338
Plafond 340
Le décor sur la scène 341
Les décors de scène dans les plans de Cellerier 341
Réalisation d'un décor de scène 345

Conclusion et perspectives 349

Rappel des principales contributions 351
Réalité virtuelle et ingénierie des connaissances 351
Histoire de la Foire Saint-Germain 352

Limites et perspectives 354

Bibliographie 357

Réalité virtuelle, ingénierie et architecture 358

Histoire des théâtres forains parisiens 373

Table des illustrations

Fig. 1. Hypothèse de restitution de la chapelle du château de Belvoir. 16
Fig. 2. Infographie montrant la restitution du fouloir Saïte de Plinthine (en haut), à partir du relevé photogrammétrique (en bas). 19
Fig. 3. Infographie montrant la restitution de la roue permettant l'activation du mailh de la forge à la catalane d'Arthez-d'Asson. 22
Fig. 4. Vue de la cale et du port de La Ciotat. 25
Fig. 5. Détail du nuage de points produit. 25
Fig. 6. Intérieur des souterrains de la cale. 25
Fig. 7. Travail en commun dans l'atelier des couturiers de l'Opéra de Nantes. De gauche à droite : Killian Poinsot, Françoise Rubellin, Patricia Nail et Charlotte Dubosc. 28
Fig. 8. L'avatar conçu par Charlotte Dubosc. 28
Fig. 9. Patricia Nail visualisant l'avatar virtuel. 28
Fig. 10. Structure proposée à la Nuit Blanche. 31
Fig. 11. Montage de la structure. 31
Fig. 12. L'espace virtuel se construit autour des visiteurs. 31
Fig. 13. Vue montrant la structure et les principaux objets constituant l'espace du théâtre de marionnettes. Les textures ne sont pas représentées. 33
Fig. 14. Immersion d'un élève en réalité virtuelle pendant que le reste de la classe poursuit les activités, au fond. 36
Fig. 15. Élève portant le casque. 36
Fig. 16. Activités liées à l'immersion en classe. 36
Fig. 17. Schéma représentant notre interprétation du cycle de la recherche, de la recherche en laboratoire jusqu'à la médiation. 39
Fig. 18. Restitution du théâtre antique de Taormin par Eugène Viollet-le-Duc, 1840. Image : Médiathèque de l'Architecture et du Patrimoine. 44
Fig. 19. La réalité virtuelle dans le continuum de la réalité mixte et dans le continuum de la réalité-virtualité, d'après Dangelmeir et Blach (à gauche) et Milgram et al. (à droite). 50
Fig. 20. Schéma de principe d'un utilisateur immergé dans une structure de type CAVE où quatre vidéoprojecteurs restituent l'environnement virtuel sur quatre faces d'un cube. 52
Fig. 21. Utilisateur d'un dispositif HMD (HTC Vive Pro) avec une manette dans la main droite à la Fête de la Science 2019 à Lyon. 53
Fig. 22. Capacités de la combinaison intégrale TeslaSuit (Image : site Internet TeslaSuit). 55
Fig. 23. Manette de HTC Vive Pro (Photo : Amazon). 56
Fig. 24. Processus de conception des données 3D dans les Sciences Humaines et Sociales d'après le Consortium 3D. 67
Fig. 25. Exposition *Cités Millénaires* à l'Institut du Monde Arabe à Paris (Photo : Katatsu Nuri No Yume). 69
Fig. 26. Échelle des preuves utilisées pour la restitution archéologique ou historique selon Cesar Figueirido (Société PAR). 75

Fig. 27. Restitution virtuelle (en haut) et affichage du degré de confiance (en bas) pour le site archéologique d'Éléphantine en Égypte (Source : PAR). 76
Fig. 28. Immersion dans La Boulongne en pleine mer virtuelle (Source : Barreau *et al.* 2015). 78
Fig. 29. Restitution diachronique de l'abbaye Santa Maria Delle Grazie à Milan (Source : Aiello & Bolognesi 2020). 80
Fig. 30. Restitution virtuelle tridimensionnelle associé à la restitution sonore du quartier du Châtelet par Bretez (Source : CNRS), à écouter sur https://sites.google.com/site/louisbretez/home . 82
Fig. 31. L'importance d'un modèle liant connaissances et maquette numérique au sein du Dossier d'Œuvre (Source : d'après Laroche 2007). 83
Fig. 32. Exemple de graphe reliant des documents historiques produit par Haruspex (Source : Quantin 2018). 84
Fig. 33. Annotation en réalité virtuelle réalisée dans MAAP Annotate (Source : Barbier et al. 2017). 86
Fig. 34. Visualisation des données archéologiques dans un dispositif SID (source : Acevedo et al. 2001). 87
Fig. 35. Mode « Discovery » d'Assassin's Creed Odyssey (Source : Ubisoft). 91
Fig. 36. Borne d'affichage en réalité augmentée de Cluny (Source : On-Situ). 94
Fig. 37. Espace immersif pour la visite de la restitution d'Ullastret (Source : Sierra et al. 2017). 96
Fig. 38. Principe de la rétro-architecture et insertion dans le cycle de vie d'un bâtiment. 110
Fig. 39. Les différentes étapes du cycle de la rétro-architecture. 112
Fig. 40. Processus d'analyse de la qualité d'une source documentaire. 116
Fig. 41. L'espace Incertitude, Importance et Complexité et ses différentes subdivisions. 121
Fig. 42. Plan de la ville de Paris vers 1550, dit « Plan de Bâles ». 130
Fig. 43. Plan de l'environnement de la Foire Saint-Germain dans la deuxième moitié du XVIII[e] siècle. (Crédit : PF) 132
Fig. 44. Plan de la Tapisserie, extrait. *Ca.* 1550. 135
Fig. 45. Plan de Bâles, extrait. *Ca.* 1550. 135
Fig. 46. Plan de Quesnel, extrait. 1609. 136
Fig. 48. Plan de Mérian, extrait. 1615. 136
Fig. 47. Plan de Nicolay, extrait. 1609. 136
Fig. 49. Plan de Sauvé, extrait. 1630. 136
Fig. 50. Plan de Boisseau, extrait. 1648. 137
Fig. 51. Plan de Gomboust, extrait. 1652. 137
Fig. 52. Plan de Jouvin, extrait. 1672. 138
Fig. 54. Plan de Nicolas de Fer, extrait. 1697. 138
Fig. 53. Plan de Bullet et Blondel, extrait. 1676. 138
Fig. 55. Plan de Jaillot, extrait. 1713. 138
Fig. 56. Plan de La Caille, extrait. 1714. 139
Fig. 57. Plan de Delagrive, extrait. 1728. 139

Fig. 58. Plan de Roussel, extrait. 1730. 140
Fig. 59. Plan de Jaillot corrigé, extrait. 1762. 140
Fig. 60. Plan de Turgot, extrait. 1735. 141
Fig. 61. Plan de Deharme, extrait. 1763. 142
Fig. 62. Plan de Verniquet, extrait. 1790. 142
Fig. 63. Plan montrant l'organisation de la Foire Saint-Germain. 144
Fig. 64. Extrait du plan N/III/Seine/264/2 montrant la numérotation des loges foraines et l'indication de leur surface en loges. 145
Fig. 65. Plan des loges foraines. Après 1762. 146
Fig. 66. Plan cadastral de la Foire et de ses alentours. Après 1762. 147
Fig. 67. Extrait du plan N/III/Seine/262/2 montrant la note manuscrite et l'emplacement du jeu. 148
Fig. 68. Plan de de la Foire Saint-Germain. 1772. 149
Fig. 69. Plan de situation de projets de construction dans la Foire. 1772. 149
Fig. 70. Croquis de plan de la Foire Saint-Germain. 150
Fig. 71. Recto (à gauche) et verso (à droite) du plan d'attribution des loges foraines CP4851 fol. 19. 151
Fig. 72. Schéma du processus de représentation des plans BHVP CP4851 fol. 16 et 19. 152
Fig. 73. Recollement du recto et verso du CP4851 fol. 16. 153
Fig. 74. Recollement du recto et verso du CP4851 fol. 19. 154
Fig. 75. Plan du puisard de la Foire, extrait. 155
Fig. 76. (à gauche) La Foire Saint-Germain, comédie italienne, planche de « Habillements et scènes comiques du Théâtre Italien ». 159
Fig. 77. (à droite) La Foire Saint-Germain, frontispice du *Théâtre Italien de Gherardi*. 159
Fig. 78. (à gauche) La Foire Saint-Germain, frontispice des « Œuvres complètes de Regnard ». 160
Fig. 79. (à droite) Le Théâtre de la Foire, frontispice de « Le Théâtre de la Foire ou l'Opéra Comique » de Le Sage et d'Orneval. 160
Fig. 80. Miniature «La Foire Saint-Germain» par Louis-Nicolas van Blarenberghe. 161
Fig. 81. La Foire Saint-Germain pendant l'incendie (nuit du 16 au 17 mars 1762). 163
Fig. 82. Les ruines de la Foire Saint-Germain après l'incendie de 1762 (vue du sud-est). 164
Fig. 83. Les ruines de la Foire Saint-Germain après l'incendie de 1762 (vue du nord-est). 164
Fig. 84. Les ruines de la Foire Saint-Germain après l'incendie de 1762 (vue du nord-est). 165
Fig. 85. (à gauche) Maison du concierge de la Foire, incendiée la nuit du 16 au 17 mars 1762. 166
Fig. 86. (à droite) Ruines de la Foire de Saint-germain du côté de l'Abbaye du même nom. 166
Fig. 87. L'Incendie de la Foire Saint-Germain de Paris. 167

Fig. 88. Vue de la porte de la Treille de l'incendie de la Foire Saint-Germain à Paris, arrivé la nuit du 16 au 17 mars 1762. 168
Fig. 89. Embrasement de la Foire Saint-Germain à Paris la nuit du 16 au 17 mars 1762. 169
Fig. 90. Plan de la Foire Saint-Germain. 170
Fig. 91. Vue de la nouvelle décoration de la Foire Saint-Germain. 171
Fig. 92. Détail des colonnes dans la partie gauche de la « Vue de la nouvelle décoration de la Foire Saint-Germain », montrant leur aspect plat. 172
Fig. 93. Position des différents lieux des spectacles officiels (Comédie-Française, Comédie-Italienne et Opéra) ainsi que des théâtres non officiels en activité au moment de la Révolution. 179
Fig. 94. Plan de Paris gravé par La Caille en 1714. Nous voyons dans le préau de la Foire quatre constructions qui correspondent selon nous à des loges foraines. 186
Fig. 95. Affiche pour *Pierrot Romulus* et *Le Rémouleur d'Amour*, données à la Foire Saint-Germain de 1722 dans la « loge du milieu du préau ». Image communiquée par Françoise Rubellin. 189
Fig. 96. Plan des lieux de représentation forains attestés des XVII^e^ et XVIII^e^ siècles. 196
Fig. 97. Vue de l'intérieur du Wauxhall de la Foire Saint-Germain. Source : Gallica, ark: 12148/btv1b8409864j 198
Fig. 98. Miniature de Louis-Nicolas Van Blarenberghe montrant un spectacle de danse de corde. (Photo : MET Musem, New-York) 199
Fig. 99. Plan de la main de Fuzelier montrant l'intérieur d'un théâtre de marionnettes. Document communiqué par Françoise Rubellin. 201
Fig. 100. Plan d'une salle de spectacle de marionnettes, pour Audinot à la Foire Saint-Germain en 1769. Archives Nationales : N/III/Seine/259/5. 202
Fig. 101. Gravure montrant les écriteaux, extraite de *Le Théâtre de la Foire ou l'Opéra-Comique*. 205
Fig. 102. Boîte à prise de Joseph-Étienne Blerzy avec miniatures de Louis-Nicolas Van Blarenberghe conservée au MET Museum de New-York. (Photo : MET Museum, New-York) 210
Fig. 103. Miniature de Louis-Nicolas Van Blarenberghe montrant un spectacle de marionnettes. (Photo : MET Museum, New-York) 211
Fig. 104. Miniature de Louis-Nicolas Van Blarenberghe montrant l'intérieur du spectacle des Fantoccini. (Photo : Huntington Art Gallery, Pasadena) 212
Fig. 105. Vue montrant la structure et les principaux objets constituant l'espace du théâtre de marionnettes. Les textures ne sont pas représentées. 217
Fig. 106. Interprétations successives d'objets et de concepts pour la modélisation du théâtre de marionnettes. Chaque flèche représente une source d'incertitude. 221

Fig. 107. Extrait de la miniature de Blarenberghe montrant le décor des murs de la salle. 222
Fig. 108. Restitution du décor que nous proposons. 222
Fig. 109. Extrait de la miniature de Blarenberghe montrant la façade du castelet. 223
Fig. 110. Dispositif d'éclairage de la scène, vue depuis les coulisses côté jardin, montrant les chandelles placées devant des réflecteurs. Le pont du marionnettiste est à gauche. Février 2019. 225
Fig. 111. Structure du castelet, sans les mécanismes, vue depuis l'arrière. 227
Fig. 112. Une des premières images réalisées pour juger de l'emplacement de l'entrée et de la largeur de l'amphithéâtre. La déformation cherche à imiter la perspective de la miniature. Janvier 2018. 228
Fig. 113. Projection sphérique de l'intérieur de la restitution du théâtre de marionnettes pour une visualisation dans un Google Cardboard. Mars 2019. 229
Fig. 114. Enregistrement simultané de l'image vue par l'expérimentateur et de sa position dans l'espace réel. Septembre 2018. 230
Fig. 115. Deux hypothèses pour l'entrée dans la salle : l'entrée centrée (à gauche) et l'entrée excentrée (à droite). Janvier 2018. 231
Fig. 116. Captation image et son de Polichinelle contrôlé par Jean-Philippe Desrousseaux. Janvier 2020. (Photo : Françoise Rubellin) 233
Fig. 117. Vue de la salle de théâtre de marionnettes restituée, intégrant les modifications suggérées par les experts, depuis la séparation du parterre. 235
Fig. 118. Le castelet avec le décor conçu et les marionnettes (Polichinelle à gauche, l'Opéra à droite) pour *Polichinelle Censeur des Théâtres*. Février 2020. 236
Fig. 119. Moyens d'expression des connaissances tacites en réalité virtuelle. 247
Fig. 120. Principe de base du fonctionnement de PROUVÉ pour l'affichage des données sur un élément d'un environnement virtuel. 251
Fig. 121. Affichage d'un élément dans la base de données OMEKA du projet VESPACE. 253
Fig. 122. Représentation des principaux composants de PROUVÉ sur Unity. 258
Fig. 123. Concept d'interface pour la représentation des données dans PROUVÉ en Réalité Virtuelle. 264
Fig. 124. Instructions d'usage distribuées avant une expérimentation en réalité virtuelle pour VESPACE. 266
Fig. 125. Espace de consultation d'une expérience dans la base Omeka de VESPACE. 271
Fig. 126. Carte représentant les lieux les plus fréquentés de la restitution du théâtre de marionnettes, de non fréquenté (transparent puis vert) à très fréquenté (rouge). 272
Fig. 127. Concept de traitement des commentaires audio à partir des informations de télémétrie. 273

Fig. 128. Les objets sélectionnables et leur localisation dans le théâtre de marionnettes. 275
Fig. 129. Installation des panneaux de présentation du projet lors du congrès ASTR à Washington en Novembre 2019. 279
Fig. 130. Espace de familiarisation de l'utilisateur avec les commandes de la réalité virtuelle et de PROUVÉ. L'utilisateur commence assis sur le banc visible en bas à gauche. 280
Fig. 131. Interface de remplissage du questionnaire en ligne sur le site du projet VESPACE. 282
Fig. 132. Résultats moyens du questionnaire distribué aux utilisateurs lors du congrès ASTR de novembre 2019. 285
Fig. 133. (à gauche) Extrait de la planche A. N. N/III/Seine/1030/30 montrant la façade projetée pour l'Ambigu-Comique. 293
Fig. 134. (à droite) « Vue du Théâtre de l'Ambigu-Comique, Boulevard du Temple » par L. Roger. 293
Fig. 135. Planche A.N. N/III/Seine/259/1, montrant la coupe longitudinale du projet. 296
Fig. 136. Planche A.N. N/III/Seine/259/10, montrant l'emplacement du « Pont » dans le castelet. 297
Fig. 137. Planche A.N. N/III/Seine/1030/10, montrant le système constructif envisagé pour BT-PRO1. 299
Fig. 138. Planche A.N. N/III/Seine/1030/34, montrant le plan du rez-de-chaussée de BT-PRO1. 300
Fig. 139. Planche A.N. N/III/Seine/1030/27, montrant le plan des loges et de l'amphithéâtre de BT-PRO1. 300
Fig. 140. Planche A.N. N/III/Seine/1030/15, montrant le plan des loges et de l'amphithéâtre de BT-PRO2. 301
Fig. 141. Planche A.N. N/III/Seine/1030/13, montrant le cadre de scène et la peinture du rideau de scène pour les projets BT-PRO1 et BT-PRO2 302
Fig. 142. Planche A.N. N/III/Seine/260/13, montrant au rez-de-chaussée le parquet (et l'absence de parterre debout) du projet FSG-APS. On distingue en pointillés l'encorbellement de l'étage. 303
Fig. 143. Planche A.N. N/III/Seine/1030FSG/40, montrant la coupe longitudinale du projet FSG-APD, où l'on voit que la salle est disposée au-dessus du rez-de-chaussée. 304
Fig. 144. Planche A.N. N/III/Seine/1030FSG/39, montrant la coupe transversale du projet FSG-APD et la disposition en encorbellement au-dessus des espaces publics à gauche et à droite. 305
Fig. 145. Détail de la planche A.N. N/III/Seine/1030FSG/50 montrant l'emplacement des guichets sous l'escalier. 306
Fig. 146. Planche A.N. N/III/Seine/1029/8, montrant le plan du parquet pour le projet BT-MOD1, avec son architecture en deux hémicylces caractéristique. 307

Fig. 147. Planche A.N. N/III/Seine/262/5, montrant le plan du parquet pour le projet FSG-GUI, la filiation avec BT-MOD1 est évidente. 307
Fig. 148. Planche A.N. N/III/Seine/262/7. La coupe longitudinale de FSG-GUI est dessinée et ombrée avec soin. 308
Fig. 149. Planche A.N. N/III/Seine/262/9, montrant le plan du parquet pour le projet FSG-PRE, avec une forme elliptique bien marquée. 309
Fig. 150. Planche A.N. N/III/Seine/1029/4, montrant le plan du parquet pour le projet BT-MOD2. 310
Fig. 151. Planche A.N. N/III/Seine/1029/3, montrant la coupe longitudinale du projet BT-MOD2 et la décoration prévue. Une loge grillagée est visible en bas à droite. 311
Fig. 152. Planche A.N. N/III/Seine/1061/3, montrant la coupe longitudinale du projet FSO. 313
Fig. 153. De haut en bas : plans des parterres ou parquets de FSG-M, FSG-APS, FSG-APD, FSO, représentés à la même échelle. 314
Fig. 154. De haut en bas : plans des parterres ou parquets de BT-PRO1, BT-PRO2, BT-MOD2 représentés à la même échelle. 315
Fig. 155. De haut en bas : plans des parterres ou parquets de BT-MOD1, FSG-GUI et FSG-PRE représentés à la même échelle. 316
Fig. 156. Représentation de la répartition des caractéristiques « génétiques » définies dans l'ensemble des plans du corpus étudié aux Archives Nationales. 318
Fig. 157. Schéma de positionnement des principaux plans et coupes du projet FSG-APD. Les numéros renvoient aux planches. 324
Fig. 158. Vue de la maquette numérique structurelle, en coupe longitudinale, du projet de théâtre pour la Foire Saint-Germain de 1772. 327
Fig. 159. Situation du projet FSG-APD, montrant son emprise au sol et ses encorbellement sur la rue, sur le plan de la Foire Saint-Germain. Le nord est en bas. 328
Fig. 160. Coupe longitudinale de la scène faisant voir les machines et les châssis supportant les décors. (Référence : A.N. N/III/Seine/1030 FSG/70) 331
Fig. 161. Espace de visualisation de la maquette à l'échelle 1:10 en réalité virtuelle. 333
Fig. 162. Section de la maquette montrant la modélisation des moulures. Le problème dû au retournement du stylobate est encadré. 336
Fig. 163. Marbre de couleur Brèche Violette (source : atelierdellarte.eu). 337
Fig. 164. Mise en place des textures sur le modèle : papier peint, marbre, ors et velours. 337
Fig. 165. Texture des garde-corps des premières loges, représentant des *putti* soutenant un drapé bleu. 338
Fig. 166. Médaillons de Favart et de Fuzelier. Il n'existe pas de représentation connue de Fuzelier, d'où le recours à un faux décollement de peinture. 339

Fig. 167. Décor en trompe l'œil our le plafond de la salle de spectacle. La scène est à gauche. 341
Fig. 168. Planche N/III/Seine/262/17 montrant le décor de la scène. 342
Fig. 169. Extrait de la planche N/III/Seine/1030/8. Un traitement a été appliqué pour révéler le croquis. 342
Fig. 170. Extrait de la planche N/III/Seine/1030FSG/37. Un traitement a été appliqué pour révéler le croquis à la mine au centre. 343
Fig. 171. Vue de l'intérieur du théâtre complet, avec le décor sur la scène, les textures et l'éclairage. 344
Fig. 172. Proposition de décor pour la scène du théâtre. 345
Fig. 173. Section longitudinale du théâtre avec les textures de la salle, l'éclairage et les décors mis en place. 347