

Mémoire de fin d'études: Utilisation de plateforme de médiation web pour communiquer le patrimoine : Le cas de l'infirmierie de l'Abbaye de Saint-Jacques

Auteur : Bauvir, Morgane

Promoteur(s) : Hallot, Pierre; Schreurs, Astrid

Faculté : Faculté d'Architecture

Diplôme : Master en architecture, à finalité spécialisée en art de bâtir et urbanisme

Année académique : 2024-2025

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/24356>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



Université de Liège - Faculté d'Architecture

Utilisation de plateforme de médiation web pour communiquer le patrimoine :

Le cas de l'infirmierie de l'abbaye de Saint-Jacques.

Travail de fin d'études présenté par Morgane Bauvir en vue de l'obtention du grade de
Master en Architecture.

Sous la direction de :

Promoteur : Monsieur Hallot Pierre

Co-promotrice : Madame Schreurs Astrid

Année académique 2024-2025

Utilisation de plateforme de médiation web pour communiquer le patrimoine :

Le cas de l'infirmérie de l'abbaye de Saint-Jacques.



Travail de fin d'études présenté par Morgane Bauvir en vue de l'obtention du grade de
Master en Architecture.

Sous la direction de :

Promoteur : Monsieur Hallot Pierre

Co-promotrice : Madame Schreurs Astrid

Année académique 2024-2025

Remerciements

La réalisation de ce mémoire de fin d'études a été possible grâce à la contribution de plusieurs personnes que je souhaite remercier.

Tout d'abord, je tiens à remercier sincèrement mon promoteur, Monsieur Pierre Hallot, pour ses précieux conseils, le matériel de relevé ainsi que les plateformes web, sans lesquelles la réalisation de ce mémoire n'aurait pas eu lieu.

Je souhaite ensuite remercier ma co-promotrice, Madame Astrid Schreurs, pour ses relectures attentives et commentaires constructifs ainsi que son aide pour l'acquisition et la gestion des données. Je la remercie aussi pour sa disponibilité et ses conseils qui ont permis l'évolution de ce travail.

Mes remerciements s'adressent ensuite à Madame Caroline Bolle de m'avoir permis d'accéder à ce vestige incroyable, d'en avoir effectué un relevé et pour toutes les informations transmises lors de nos échanges.

Ma reconnaissance va aussi à Monsieur Régis André, pour m'avoir aidé et enseigné quelques notions sur le codage pour réaliser cette plateforme web.

Je tiens à exprimer ma gratitude envers mes proches, ma famille, mes amis, pour leur présence et leur écoute, leur soutien, ainsi que leur aide tout au long de ce travail.

À toutes les personnes qui ont participé et inspiré ce travail d'une façon ou d'une autre, je souhaite adresser mes remerciements sincères.

Description de l'usage de l'IA

Dans le cadre de la réalisation de ce mémoire, différents outils numériques ont été mobilisés pour accompagner certaines étapes du travail. Les outils de traduction DeepL et Google Traduction ont permis de traduire des contenus scientifiques rédigés en anglais, facilitant leur compréhension et leur intégration.

Par ailleurs, l'intelligence artificielle a notamment été utilisée pour corriger l'orthographe ainsi que la syntaxe, en s'appuyant principalement sur les applications Scribens et ChatGPT. Ce dernier a également été utile dans le codage de la plateforme Observable.

Enfin, la plateforme Sora a été employée pour la création et la génération de planches de bande dessinée et utilisée comme support visuel dans ce mémoire.

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	1
2	PATRIMOINE BÂTI	4
2.1	NOTION DE PATRIMOINE BÂTI	5
2.2	ACCESSIBILITE AU PATRIMOINE	7
2.3	PROTECTION DU PATRIMOINE	8
2.4	DOCUMENTATION DU PATRIMOINE	9
2.5	TRANSMISSION	11
3	ÉTAT DE L'ART	12
3.1	ACQUISITION DE DONNEES 3D	13
3.1.1	<i>Lasergrammétrie</i>	14
3.1.2	<i>Photogrammétrie</i>	23
3.2	VISUALISATION DES DONNEES 3D	24
3.2.1	<i>BIM</i>	24
3.2.2	<i>HBIM</i>	25
3.3	MEDIATION	25
3.3.1	<i>Patrimoine phygital</i>	25
3.3.2	<i>Interfaces en ligne</i>	27
3.3.3	<i>Narration numérique</i>	33
4	QUESTIONS DE RECHERCHE	34
5	MÉTHODOLOGIE	36
5.1	ANALYSE DU CAS D'ÉTUDE	37
5.2	COLLECTE DE DONNEES	38
5.2.1	<i>Système de cartographie mobile (NavVis)</i>	38
5.2.2	<i>Protocole de relevé</i>	39
5.3	GESTION DE DONNEES	42
5.4	CREATION D'UN STORYBOARD	43
5.5	CREATION DES DOCUMENTS	44
5.6	CREATION DU SITE	45
5.7	ANALYSE CRITIQUE	46
6	CONTEXTE : L'ANCIENNE INFIRMERIE DES MOINES DE L'ABBAYE DE SAINT-JACQUES	47
6.1	ASPECTS HISTORIQUES	48
6.1.1	<i>Vestiges antérieurs au XIV^{ème} Siècle</i>	50
6.1.2	<i>Au XIV^{ème} Siècle</i>	52
6.1.3	<i>Au XVI^{ème} Siècle</i>	56
6.1.4	<i>Au XVIII^{ème} Siècle</i>	59
6.1.5	<i>Aux XIX^{ème} et XX^{ème} Siècles</i>	61
6.1.6	<i>Au XXI^{ème} Siècle</i>	62
6.1.7	<i>Evolution du bâti</i>	63
6.2	MONITORING	64
7	RELÈVE SLAM DU BÂTIMENT	66
7.1	PREPARATION	67
7.2	DEROULEMENT	69

8	GESTION DES DONNÉES DU SITE	72
8.1	TRAITEMENT DES DONNEES	73
8.1.1	<i>Chargement des données sur IVION</i>	73
8.1.2	<i>Alignement des ensembles de données</i>	76
8.1.3	<i>Création d'un modèle de site</i>	77
8.1.4	<i>Nettoyage du nuage de points</i>	78
8.2	POINTS D'INTERETS	79
8.3	ANALYSE DE LA QUALITE DES DONNEES	81
9	RÉALISATION DU SCÉNARIO ET DU STORYBOARD	85
10	CRÉATION DE DOCUMENTS	88
10.1	DOCUMENTS 2D	89
10.1.1	<i>Documents graphiques</i>	89
10.1.2	<i>Rendu et superposition des documents 2D</i>	95
10.2	DOCUMENTS 3D	97
11	CRÉATION DU SITE WEB	102
12	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	118
13	BIBLIOGRAPHIE	121
14	TABLE DES ILLUSTRATIONS	132
15	ANNEXES	139
15.1	ANNEXE 1 : STORYBOARD	140
15.2	ANNEXE 2 : SITE WEB REALISE SUR LA PLATEFORME OBSERVABLE	158
15.3	ANNEXE 3: ENSEMBLE DES LIGNES DE CODE EXPORTE DU NOTEBOOK.	185

Liste des Acronymes et Abréviations

AEC	Architecture, Ingénierie et Construction
API	Application Programming Interface
AWaP	Agence wallonne du Patrimoine
BIM	Building Information Modelling / Modélisation des informations du bâtiment
CDAO	Conception et dessins assistés par ordinateur
CPDT	Conférence Permanente du Développement Territorial
CWAB	Centre Wallon d'archéologie du bâti
DG04	Département de l'Energie et du Bâtiment
GLB	GL Transmission Format Binary file
GNSS	Global Navigation Satellite System / Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites
GPS	Global Positioning System/ Système de Positionnement Global
HBIM	Heritage Building Information Modelling/ Modélisation des informations sur les bâtiments patrimoniaux
HTLM	HyperText Markup Language
IA	Intelligence Artificielle
ICOMOS	Conseil international des monuments et des sites
IMMS	Indoor Mobile Mapping Systems / Systèmes mobiles d'acquisition d'environnements intérieurs
IMU	Inertial Measurement Unit / Centrale de mesure inertielle
IPW	Institution du patrimoine wallon

IUG	Interface Utilisateur graphique
LiDAR	Light Detection and Ranging / Détection et télémétrie par la lumière
LOA	Level of Accuracy / Niveau de précision
LOD	Level of Detail/ Niveau de détail
MLS	Mobile Laser Scanning / Scanner laser mobiles
MMS	Mobile Mapping Systems/ Systèmes de cartographie mobiles
PC	Points de contrôles
POI	Points d'intérêt
RMSE	Erreur quadratique moyenne
SFM	Structure from motion/ structure à partir du mouvement
SIG	Système d'Information Géographiques
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping / Technique de localisation et de cartographie simultanées
SPW	Service public de Wallonie
TIC	Technologies de l'information et de la communication
TLS	Terrestrial Laser Scanning / scanner laser terrestre
TS	Total Station / Station Totale
UAV	Véhicule aérien sans humain à bord
UNESCO	Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

1 INTRODUCTION

« Sauvegarder tout autant l'œuvre d'art que le témoin d'histoire », l'article 3 de la Charte de Venise (Conseil international des monuments et des sites [Icomos], 1994) souligne l'importance de préserver le patrimoine bâti à la fois dans sa valeur artistique et dans sa valeur historique.

De son côté, la Déclaration universelle des droits de l'homme (Nations Unies, 1948) déclare que « toute personne a le droit de prendre part librement à la vie culturelle de la communauté, de jouir des arts et de participer au progrès scientifique et aux biens faits qui en résultent », il est donc légitime que chacun ait accès à ce patrimoine.

Ces deux principes posent les fondations d'une vision où la conservation du patrimoine va de pair avec son accessibilité au plus grand nombre. L'accessibilité et la transmission du patrimoine deviennent d'autant plus indispensables quand ces lieux sont inaccessibles pendant la durée de travaux de conservation ou de restauration d'un monument. Cette situation crée une longue période d'inactivité en termes de communication et de diffusion des connaissances. Dès lors, une question se pose, que devient la transmission du patrimoine lorsqu'il est rendu inaccessible au public pour des raisons de conservation ?

Il est donc essentiel d'établir une communication continue autour du patrimoine avant et pendant le projet de réhabilitation pour maintenir le lien avec les visiteurs (Hallot, Lambert & Jouan, 2021). Cette communication passe notamment par la diffusion d'informations visant à rendre le patrimoine accessible à tous, à sensibiliser le public et à valoriser ces richesses culturelles (Nofal, Reffat & Vande Moere, 2017).

Depuis la fin du XX^{ème} siècle, les nouvelles technologies numériques ont transformé la méthode de documentation du patrimoine, notamment avec la combinaison de la photographie et des relevés 3D (Vomscheid, 2018). Des techniques, telles que la lasergrammétrie et la photogrammétrie, permettent de concevoir des modèles tridimensionnels précis, qui deviennent alors des archives numériques (Bagieu & Macher, 2023).

Parallèlement, les outils dédiés à la médiation se sont largement développés, allant de supports traditionnels dans les musées à des formats plus interactifs sur des plateformes numériques (Vongsingthong & Smanchat, 2014). L'intégration des relevés numériques du patrimoine dans ces supports améliore la communication et facilite la diffusion des connaissances, ainsi ces données peuvent se retrouver sous différentes plateformes.

Face à ces différents enjeux, ce travail s'organise autour de la problématique suivante : « Comment communiquer le patrimoine bâti via la numérisation 3D et le valoriser sur une plateforme destinée au grand public ? ».

Ce travail s'intéresse plus spécifiquement à étudier les opportunités offertes par ces moyens numériques pour la diffusion du patrimoine bâti, dans le contexte d'un lieu inaccessible. Pour cela, nous allons analyser le processus de création d'un prototype de site web, visant à communiquer l'histoire de l'ancienne infirmerie des moines de l'abbaye de Saint-Jacques, vestige exceptionnel datant du XIV^{ème} siècle actuellement fermé au public. Ce processus mobilisera à la fois des outils numériques de documentation et de médiation. Nous nous pencherons sur leurs fonctionnalités ainsi que sur les possibilités offertes en termes de design pour créer des documents et, *in fine*, une interface utilisable par le public.

S'agissant des outils de documentation employés, nous privilégierons une méthode cinématique, approche de plus en plus répandue en raison de sa facilité d'utilisation et de la rapidité d'acquisition des données (Askar, Scheider & Sternberg, 2023). Parmi ces approches, figure la technique de localisation et de cartographie simultanées, ou *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM), récemment introduite dans le domaine. Nous exploiterons cette méthode, qui repose sur un déplacement continu de l'opérateur, en raison des nombreux avantages qu'elle présente par rapport au *Terrestrial Laser Scanning* (TLS), lequel se limite à la capture de données statiques.

En ce qui concerne les outils de médiation, la plateforme Observable sera mobilisée. Fondée sur le langage JavaScript, elle offre la possibilité, dans le domaine du patrimoine bâti, de générer des visualisations interactives à partir de relevés patrimoniaux, de suivre l'évolution d'un édifice ou encore de croiser des données historiques. Elle se révèle particulièrement pertinente pour explorer, analyser et partager les données de manière visuelle et accessible, tout en favorisant la collaboration entre chercheurs, institutions et publics. Par ailleurs, d'autres interfaces seront intégrées au sein de la plateforme Observable, telles que le projet e.thesaurus, la plateforme NavVis IVION.

Dans cette perspective, le contexte ayant conduit à la formulation des questions de recherche sera examiné en détail, en mettant en lumière les raisons et les modalités selon lesquelles le patrimoine bâti est aujourd'hui protégé, documenté et transmis. L'état de l'art présentera ensuite de manière approfondie l'apport des technologies numériques dans le domaine du patrimoine bâti, tant pour l'acquisition et la modélisation des données que pour leur visualisation et leur médiation. Les questions de recherche seront exposées de manière précise afin de clarifier les enjeux et les objectifs poursuivis par cette étude. La méthodologie détaillera les étapes mises en œuvre pour atteindre ces objectifs. Une contextualisation du cas d'étude, portant sur l'ancienne infirmerie de l'abbaye Saint-Jacques, sera abordée avant de décrire la manière de relever les données SLAM et de gérer les données récoltées. Enfin, les différentes phases de création seront décrites, allant de l'élaboration du scénario et du storyboard à la production de documents 2D et 3D, pour aboutir à la création d'un prototype de site web destiné au grand public.

2 PATRIMOINE BÂTI

Cette partie aborde les notions de patrimoine, en se concentrant sur son accessibilité, sa préservation et la nécessité de le documenter.

2.1 Notion de patrimoine bâti

Le patrimoine constitue un héritage transmis de génération en génération. Il reprend les biens légués par nos ancêtres. Plusieurs catégories existent, dont le patrimoine naturel qui se distingue du patrimoine culturel (Denoël, 2024).

Le manuel de référence de l'UNESCO qualifie le patrimoine naturel comme étant « des formations physiques et biologiques ou par des groupes de telles formations qui ont une valeur universelle exceptionnelle du point de vue esthétique ou scientifique » (Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture [UNESCO], 2011, p.23).

Selon l'Institut de statistique de l'UNESCO (2009), le patrimoine culturel est constitué par « l'ensemble des artefacts, des monuments, des groupes de bâtiments et des sites, des musées qui se distinguent par leurs valeurs diverses, y compris leurs significations symboliques, historiques, artistiques, esthétiques, ethnologiques ou anthropologiques, scientifiques et sociales ». Cette définition comprend à la fois le patrimoine matériel (mobilier, immobilier et immergé) et le patrimoine culturel immatériel intégré dans la culture et les artefacts, sites ou monuments du patrimoine naturel, ainsi que le patrimoine industriel ou encore les peintures rupestres. Cependant, selon l'organigramme présenté à la page suivante (voir page suivante, Figure 1) le patrimoine immatériel relatif à d'autres domaines culturels, comme les festivals, les célébrations, etc., n'est pas compris dans cette catégorie.

Au sein de ce cadre, le patrimoine bâti représente un sous-ensemble du patrimoine culturel. Il désigne l'ensemble des constructions présentant une valeur patrimoniale, qu'elles soient reconnues officiellement ou non, mais dont il s'agit de garantir la pérennité. Cela inclut les monuments historiques, l'architecture vernaculaire, les bâtiments industriels, ainsi que les ensembles urbains et ruraux (Conférence Permanente du Développement Territorial [CPDT], 2011).

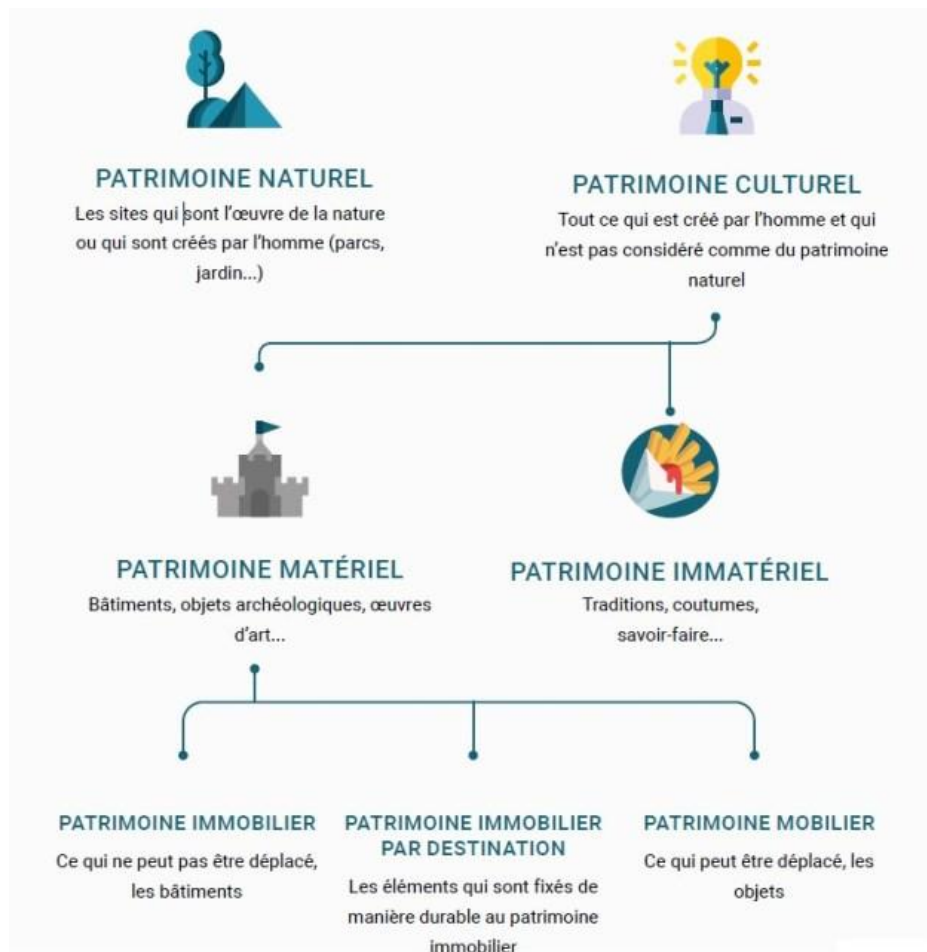


Figure 1 : Les différents types de patrimoine, (Denoël, 2024).

Pour le patrimoine bâti, les sites et monuments ne sont pas de simples objets architecturaux, elles sont les témoins tangibles d'un passé partagé, porteuses de significations multiples. Elles incarnent des récits historiques, des usages sociaux, voire des mémoires collectives. Comme le souligne Nofal et al. (2018), ces objets bâtis peuvent devenir un processus de communication, rendant visibles les valeurs d'une société à travers le temps. Les valeurs patrimoniales qui leur sont attribuées ne sont pas figées, comme elles évoluent, en fonction des contextes sociaux, culturels ou politiques. De la Torre (2013), rappelle à ce titre que ces valeurs sont souvent construites par les expériences vécues, les émotions suscitées, ou par les événements.

Ainsi, le patrimoine bâti n'est pas seulement un témoin du passé, mais aussi un sujet de débat entre conservation et restauration, et une transmission qu'il est important de perpétuer et de rendre accessible à tous.

2.2 Accessibilité au patrimoine

L'accessibilité au patrimoine peut-être temporairement interrompue ou interdite de manière permanente, notamment lors de travaux de conservation, de restauration ou de préservation d'objets fragiles. Ces interventions, comme le précise la Charte de Venise de 1964, ont pour objectif de préserver à la fois la valeur artistique de l'œuvre et son importance historique (ICOMOS, 1994). Il devient alors essentiel de maintenir une communication continue afin de préserver le lien entre le monument et les visiteurs.

L'Assemblée générale des Nations Unies en avait déjà conscience en 1948 en proclamant la Déclaration universelle des droits de l'Homme. Il est inscrit dans l'article 27 « Toute personne a le droit de prendre part librement à la vie culturelle de la communauté, de jouir des arts et de participer au progrès scientifique et aux biens faits qui en résultent ». En Belgique, cette volonté est reprise dans les dispositions du Décret remplaçant le Code wallon du Patrimoine et portant des dispositions diverses du 28 septembre 2023 qui garantit l'accessibilité de bien patrimoniale au public.

Pour garantir cet objectif, les conclusions du Conseil européen du 10 mai 2012 sur la numérisation et l'accessibilité en ligne du matériel culturel et la conservation numérique rappellent que la numérisation puis la conservation en ligne du patrimoine culturel apparaissent comme une des solutions pour en assurer l'accès continu au grand public. Il est toutefois important de prioriser la numérisation du patrimoine bâti en raison de ces valeurs culturelles et de sa vulnérabilité face au temps, aux risques de dégradation. Cette démarche vise à préserver et à transmettre ce patrimoine.

Cependant, il est important de prioriser le type de patrimoine à numériser. En effet, Treleani (2014) interroge la numérisation du patrimoine, qui est favorisée par des initiatives mondiales et qui considère le patrimoine comme une réflexion sur le passé et le présent. Bien que la numérisation facilite l'accès aux archives, elle soulève des questions sur notre relation au passé, car le patrimoine numérique ne doit pas simplement stocker, mais être conservé et transmis comme construction du présent. Ainsi, il nécessite une sélection fine des documents.

Néanmoins, une numérisation du patrimoine seule ne suffit pas, Trizio et al. (2019), montrent l'importance de la continuité dans la numérisation du patrimoine culturel, et ne se limitant pas à une simple documentation, mais ils incluent aussi sa préservation, sa valorisation et sa transmission aux générations futures. Comme le patrimoine culturel évolue continuellement, il est important de le maintenir vivant grâce à des stratégies de communication en l'intégrant dans l'éducation. En effet, elle a un rôle à jouer dans la conservation du patrimoine.

L'accès au patrimoine est donc un enjeu primordial pour la connaissance et la culture, il se doit d'être renforcé par la législation et la numérisation, tout en gardant une gestion rigoureuse des données.

2.3 Protection du patrimoine

Selon le Code wallon du Patrimoine (CoPat), art. D.12 et suivant, le classement, il représente « une mesure de reconnaissance de la valeur patrimoniale d'un bien et une mesure de protection destinée à assurer sa conservation, son entretien et, si nécessaire, sa restauration. Pour ce faire, le classement garantit la mise en œuvre de techniques spécifiques et adaptées aux qualités exceptionnelles du bien » (AWaP, s.d.). Cela implique que toute modification d'un bien classé requiert une autorisation ministérielle (Denoël, 2024).

Les biens immobiliers classés doivent présenter un intérêt archéologique, architectural, artistique, esthétique, historique, mémoriel, paysager, scientifique, social, technique ou urbanistique et évoluent selon des critères tels que la rareté, l'authenticité, l'intégrité et la représentativité. Le classement se fait également en fonction de la nature du bien (art 3, 6°, 14°, 23°, 40 °et 41° du CoPat). Ainsi, le classement distingue quatre types de bien : monument, site, ensemble architectural et site archéologique.

En complément, une liste de sauvegarde temporaire constitue une mesure d'urgence visant à protéger un bien patrimonial non classé, mais menacé de destruction ou de modifications provisoires ou permanentes. Prévues par l'article 19 du CoPat, cette procédure transitoire s'étend sur une durée de six mois et confère au bien presque toutes les protections associées au classement. Pendant cette période, le bien est protégé contre toute destruction ou altération. À l'issue de ces six mois, l'AWaP doit remettre un rapport au Gouvernement évaluant l'opportunité d'engager une procédure de classement.

En Wallonie, la protection juridique constitue un fondement essentiel pour la préservation des biens patrimoniaux. Le classement et les mesures de sauvegarde permettent de mettre en valeur les qualités historiques, architecturales ou culturelles de ces biens. Cette reconnaissance s'accompagne d'une signalétique spécifique apposée sur les biens classés, facilitant leur identification par le public. Il s'agit d'un écusson blanc et bleu portant les mentions « Région wallonne », « Bien classé » et « Patrimoine protégé ». Cette signalétique peut être complétée par une URL, un QR code et/ou une puce NFC, permettant d'accéder à une courte notice en ligne accompagnée d'une ou plusieurs illustrations (AWaP, s.d.).

L'illustration (voir Figure 2) montre cette signalétique située sur la façade du numéro 9, place, Emile Dupont, à Liège. À la suite de découvertes archéologiques exceptionnelles, elles ont été reconnues comme élément du patrimoine et classées en 2003. Ce classement a permis de les sauver in extremis de la démolition (Bolle & Léotard, 2006).



Figure 2 : Signalétique d'un bien classé de Wallonie, place Emile Dupont n°9 et 10 <https://qrwallonie.be/LIEGE074>. Photographie personnelle: © M., Bauvir (Le 17 octobre 2024).

Le classement d'un bien nécessite un travail préalable de documentation afin d'en évaluer la valeur patrimoniale. Cette étape permet de sélectionner les monuments réellement dignes de protection et d'assurer une gestion cohérente du patrimoine.

2.4 Documentation du patrimoine

Depuis la fin du XX^{ème} siècle, de nouvelles technologies numériques se sont développées dans le domaine de l'information et de la communication (TIC). Les débouchés sont multiples et peuvent se retrouver sous différents aspects, comme des photographies, des bases de données, des images de synthèse, des relevés 2D et 3D, des maquettes numériques, etc. (Vomscheid, 2018).

Ces évolutions ont profondément transformé les méthodes de documentation du patrimoine bâti, en soulevant de nouveaux défis en matière d'exactitude scientifique et de fiabilité des informations récoltées (Santana Quitero, 2012).

De nos jours, la photographie et les illustrations s'enrichissent de relevés 3D, préservant ainsi numériquement le patrimoine architectural. Elles deviennent ensuite des archives numériques, utiles à la restitution et à la valorisation de ce patrimoine (Vomscheid, 2018). Dans ce contexte, des technologies comme la lasergrammétrie et la photogrammétrie permettent de générer un maillage tridimensionnel et des nuages de points (Bagieu & Macher, 2023). Parmi les méthodes industrielles standard, le scanner laser terrestre (TLS) est un modèle d'acquisition de données statiques, générant des nuages de points de très haute qualité. Cependant, pour réaliser un relevé par balayage, ces appareils demandent de multiples configurations (Askar, Scheider et Sternberg, 2023), ce qui augmente le temps sur le terrain ainsi que le temps de post-traitement en bureau (Gharineiat et al., 2024).

Ces dernières années, des approches cinématiques sont de plus en plus favorisées en raison de leur facilité d'utilisation et de la rapidité d'acquisition des données (Askar, Scheider & Sternberg, 2023). Parmi elles, l'utilisation de la technique de localisation et de cartographie simultanées connue sous le nom de « Simultaneous Localization and Mapping » (SLAM). Cette méthode peut être utilisée en se déplaçant à pied, en véhicule ou en chariot grâce à des capteurs optiques de navigation et de positionnement (IMU, Inertial Measurement Unit)¹ associés à une unité de contrôle et de synchronisation (Campi, Falcone & Sabbatini, 2022). Le système utilise un LiDAR (light detection and ranging) et des caméras panoramiques (Askar, Scheider & Sternberg, 2023).

Ainsi, l'ensemble de ces technologies contribue à l'obtention d'informations plus précises et complètes du patrimoine bâti. Toutefois, cette accumulation de données doit s'accompagner d'une approche holistique pour sélectionner les informations pertinentes. Cela permet de comprendre les valeurs patrimoniales, l'intégrité des structures, les détériorations et leurs causes. Ainsi, elle permet de relever différents défis liés à l'étude et à la protection de ce patrimoine, comme la transmission de génération en génération, ou en cas de destruction ou d'altération de ces valeurs. Cette documentation peut servir pour faciliter l'entretien préventif, sa surveillance et sa conservation, pour l'accessibilité aux visiteurs, ainsi que sa promotion menant à la participation citoyenne (Santana Quitero, 2012).

Enfin, comme le stipule Clark, toute stratégie de conservation commence par une étape fondamentale, comprendre la structure physique du bien étudié à travers une documentation précise (Clark, 2007).

¹ Le site SBG systems (www.sbg-systems.com) définit l'IMU comme un capteur mesurant l'accélération et le mouvement de rotation.

2.5 Transmission

La diffusion de ces contenus se fait encore souvent par des moyens traditionnels, comme les étiquettes ou les audioguides, dans les musées. Cependant, les avancées technologiques ont permis l'apparition de formats plus dynamiques et interactifs (Nofal et al., 2017). Notamment dans l'utilisation des sites web, des systèmes de navigation intelligents et d'informations sur le patrimoine, des applications mobiles ou des environnements en réalité virtuelle et augmentée (Vongsingthong & Smanchat, 2014). L'intégration des relevés numériques du patrimoine bâti dans ces différents formats offrira une nouvelle forme de communication, favorisant une meilleure diffusion des connaissances du patrimoine (Hallot, Lambert & Jouan, 2021).

L'accès au savoir historique et à l'archivage du patrimoine peut aujourd'hui s'effectuer via différentes plateformes numériques (De Bideran, 2014). D'autres supports sont fréquemment mobilisés en médiation culturelle, comme la bande dessinée, qui devient un véritable média de diffusion des découvertes scientifiques. Elle est ainsi employée de manière ludique pour mettre en valeur les résultats de la recherche (Cloet-Sanchez & Schoetter-Nozarian, 2023).

En conclusion, l'évolution des techniques de transmission permet une nouvelle manière de visualiser le patrimoine bâti, ce qui facilite sa transmission et sa conservation. Plusieurs acteurs peuvent ainsi avoir accès à ces données, notamment le grand public ou les chercheurs.

3 ÉTAT DE L'ART

L'état de l'art s'articule autour de deux parties. La première aborde l'acquisition de données, tandis que la seconde concerne la visualisation des données.

3.1 Acquisition de données 3D

Les outils d'acquisition de données géospatiales offrent la possibilité de réaliser des « répliques numériques » précises d'un environnement bâti et par la suite d'intégrer la géométrie d'un site historique dans une reconstruction virtuelle en 3D. (Jouan et al., 2021). Cette numérisation 3D génère des nuages de points, c'est-à-dire des ensembles de points placés dans un système de coordonnées 3D (x, y et z). Ces nuages varient en fonction de plusieurs facteurs, tels que la densité des points, l'incertitude des mesures, les occlusions, la présence ou non d'informations sémantiques et le format de fichier dans lequel ils sont contenus. Lors du choix du modèle à obtenir, il est donc important de tenir compte de ces caractéristiques. (Bagieu & Macher, 2023).

Parmi ces outils d'acquisition de données, la lasergrammétrie et la photogrammétrie sont deux des principales technologies utilisées en numérisation du bâti. Toutefois, il existe d'autres outils d'acquisition de données géométriques et multispectrales, parmi lesquels certains systèmes permettent d'obtenir des données à des endroits peu accessibles, voire dangereux.

Une technologie d'acquisition de données est choisie selon les besoins. Ce choix est effectué par rapport à l'état du site, de ses caractéristiques du patrimoine et des contraintes de temps. Pour obtenir un modèle précis, il est préférable de combiner différentes techniques, telles que le scanner laser terrestre (TLS), la photogrammétrie, les véhicules aériens sans pilote (UAS). (Liu et al., 2023). Ensuite, les données sont stockées et traitées dans des modèles de représentations, comme les systèmes d'informations géographiques (SIG)², la conception et dessin assisté par ordinateur (CDAO)³ ou le Building Information Modeling (BIM)⁴ (Billen et al., 2018).

² Le site de Ressources de géographie pour les enseignants Géoconfluences (<https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/systemes-dinformation-geographique-sig-et-geomatique>) décrit le SIG comme étant « un système qui permet de recueillir, stocker, traiter, analyser, puis mettre en forme des données géographiques ».

³ Le site Autodesk (<https://www.autodesk.com/be-fr/solutions/cad-software>) définit le CDAO comme étant une « technologie qui permet aux créateurs de concevoir, de dessiner et de produire de la documentation technique en remplaçant les techniques de dessin manuel par un processus numérique ».

⁴ Selon Higgins (2021), le BIM est « l'ensemble de données qui comprend des informations sur les caractéristiques physiques et fonctionnelles du bâtiment sous forme de modèle 3D ».

3.1.1 Lasergrammétrie

La lasergrammétrie utilise le principe de LiDAR (Light Detection and Ranging) et fonctionne par balayage d'un rayon laser pour concevoir des nuages de points en 3D tout en intégrant des données colorimétriques. (Billen et al., 2018). Pour ce faire, cette technique de balayage laser 3D projette un faisceau laser sur un miroir rotatif afin de mesurer, sans contact, les coordonnées d'un objet. En rotation (statique) ou en déplacement (dynamique), le scanner capte ainsi l'environnement en trois dimensions. À haute fréquence, il acquiert des millions de points en un temps très court, permettant de reconstituer précisément la position des points d'impact du laser dans l'espace.

Il existe plusieurs technologies d'acquisition pour les sites ou les bâtiments, en fonction de l'utilité, nous retrouvons notamment les scanners laser à temps de vol ou à impulsions, scanners laser à décalage de phase, scanners laser hybride et scanners laser mobile (voir Figure 3). Nous allons détailler les caractéristiques du TLS (Terrestrial Laser Scanning/lasergrammétrie terrestre statique) et du SLAM (Simultaneous Localization and Mapping/lasergrammétrie terrestre dynamique) (Bagieu & Macher, 2023).

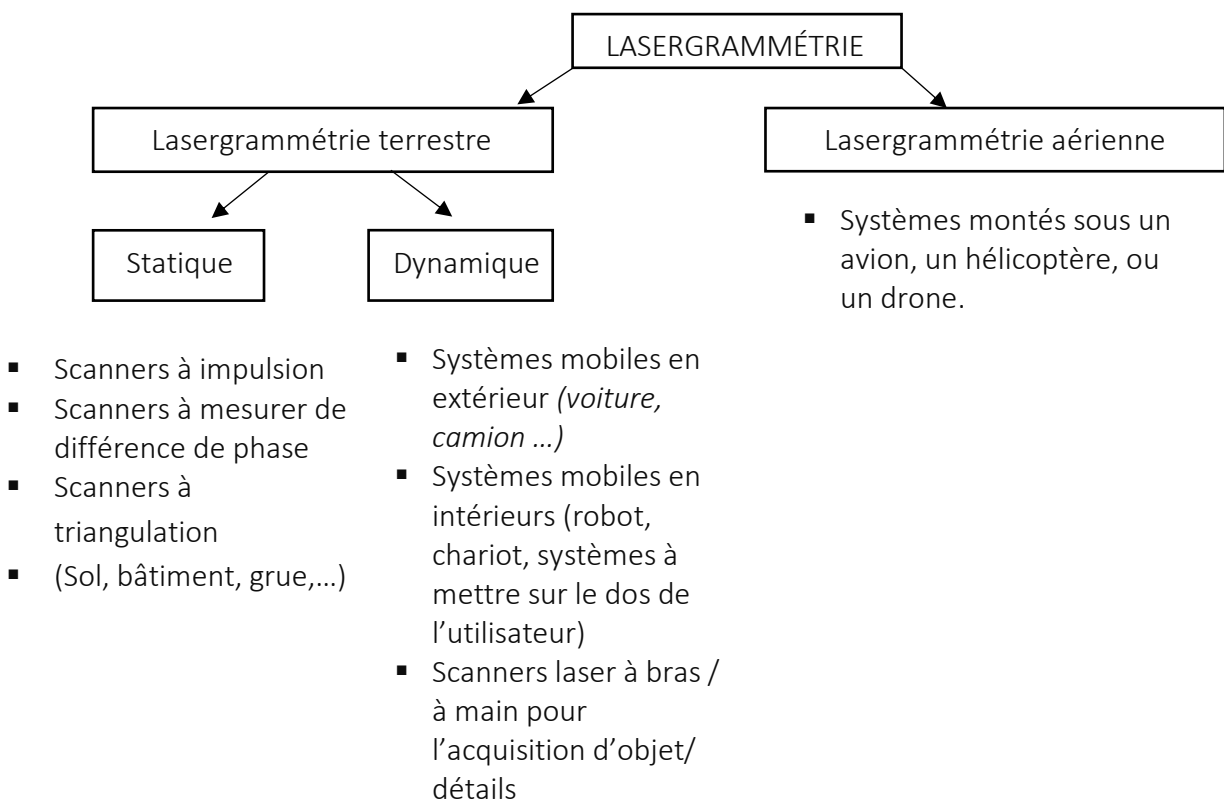


Figure 3 : Classification des systèmes d'acquisition lasergrammétrie. Sur base du schéma de H.Macher.
Source (Bagieu & Macher, 2023).

3.1.1.1 TLS

La lasergrammétrie terrestre statique, dite TLS arrive vers la fin des années 1990. Plusieurs constructeurs conçoivent des scanners laser terrestres à balayage dotés d'une fréquence d'acquisition d'environ 5 000 points par seconde. Cela a permis, pour le domaine de conservation du patrimoine, de réaliser des relevés tridimensionnels à haute résolution (Heno & Chandelier 2014). Ces scanners terrestres statiques sont classés selon leurs principes de mesure de distance et sont positionnés sur un trépied (voir Figure 4). Nous retrouvons, sous le nom de scanner laser « à temps de vol », deux catégories de scanners. Tout d'abord, les scanners à impulsions. Ils offrent une haute précision, ils fonctionnent sur de grandes distances, mais ils possèdent un taux de mesure plus faible. Ils sont plutôt destinés aux acquisitions extérieures, couvrant de grandes surfaces. Ensuite, les scanners à mesure de différence de phase, ils sont beaucoup plus précis et ont une cadence élevée de mesure. Ils sont plutôt utilisés pour l'acquisition en intérieur, sur des distances moyennes. Ces deux types de scanner laser à temps de vol déterminent la distance en se basant sur la mesure du temps nécessaire au faisceau laser pour effectuer un aller-retour entre le scanner et l'objet. Ils ont l'avantage de permettre d'obtenir une haute précision tant en extérieur qu'en intérieur. Toutefois, ils ne permettent pas de réaliser des mesures de précisions sur des courtes distances.

En revanche, les scanners à triangulation peuvent se concentrer sur des petits objets à taille humaine obtenant des mesures précises. Ils utilisent le principe de mesure de distance par triangulation (Bagieu & Macher, 2023) (voir Figure 5).

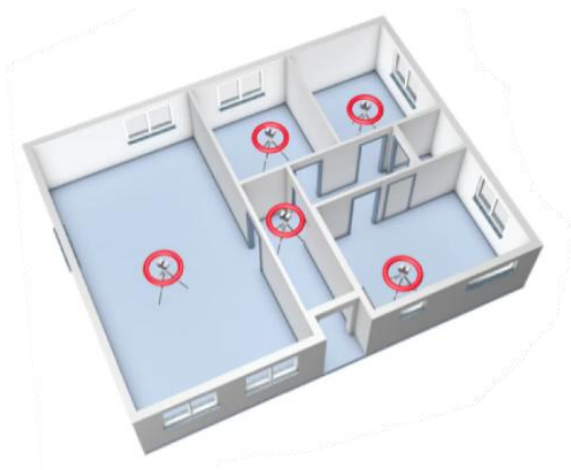


Figure 4 : Mise en place des différentes stations. Source NavVis. (2025). Le guide définitif de SLAM de cartographie mobile. Qu'est-ce que la localisation et cartographie simultanée (SLAM)? Consulté le 3 mars 2025, à l'adresse <https://fr.navvis.com/technology/slam>

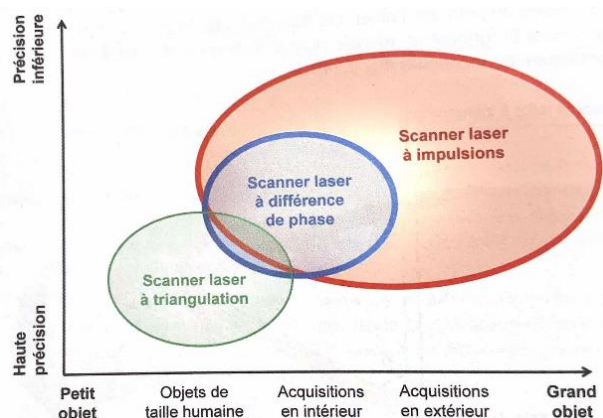


Figure 5 : Comparaison des méthodes de mesure selon deux critères : la taille de l'objet d'étude et la précision de la mesure. Source (Bagieu & Macher, 2023).

L'étude menée par Liu et al. (2023). a analysé 58 articles traitant le sujet du TLS dans le domaine du développement de modélisation des informations sur les bâtiments patrimoniaux (HBIM) et utilisant une approche PRISMA⁵. Cette étude nous offre une vision globale du scanner laser terrestre statique. Ils ont constaté que les scanners les plus utilisés sont Faro et Leica, suivi de trois autres marques nettement moins utilisées ; Trimble, Surphaser et Zoller + Fröhlich (Z+F) (voir Figure 6).

L'avantage principal de tous ces scanners est qu'ils sont légers et rapides, ils capturent des données précises sur site. Cependant, selon le niveau de détail souhaité, les résolutions obtenues diffèrent en fonction du modèle du TLS. En effet, différents facteurs externes affectent l'efficacité de ces appareils, telle que la distance entre le scanner et l'objet ciblé, la vitesse de numérisation, la réflectivité de l'objet à la lumière, le contexte environnemental.

Le principal inconvénient est le temps nécessaire pour traiter les données collectées. Il faut les nettoyer, les filtrer et réduire les nuages de points. Les chercheurs constatent qu'en général ce traitement s'effectue dans les logiciels préinstallés par les fabricants ou *Autodesk ReCap Pro*. Il s'avère que ces logiciels, en plus d'être coûteux, sont très lents à traiter les données. Or, la modélisation dans les plateformes BIM requiert des données de faibles volumes/poids. Ces deux possibilités n'offrent pas un temps de traitement rapide. C'est pourquoi un autre type de logiciel, tel que *Revit* ou *ArchiCAD* sera employé pour réduire la taille du fichier final à exploiter.



Figure 6 : Scanner laser terrestre de pointe : (a) FARO Focus Premium ; (b) Leica BLK360 ; (c) Trimble X7 Sources (Liu et al., 2023).

⁵PRISMA Eléments de rapport préféré pour la revue systématique et la méta-analyse (Liu et al.,2023).

Les auteurs notent que, pour obtenir un meilleur résultat et améliorer la précision, il est nécessaire de combiner les méthodes d'acquisition de données. Trois systèmes d'acquisition de données sont mis en avant. Premièrement, le TLS avec le Structure à partir du mouvement (SfM) ou la photogrammétrie qui est assez flexible et offre des nuages de point de haute précision. Deuxièmement, la combinaison du TLS avec des scanners mobiles portables utilisant la photogrammétrie ou la technologie LiDAR. Cette dernière est capable de se rendre dans des espaces difficiles, voire inaccessibles. Troisièmement, la combinaison de scanner laser terrestre avec des stations totales (TS) ou des systèmes de positionnement global (GPS). Une telle combinaison contrôlerait directement la qualité des données de nuage de points récoltées grâce à des points de contrôle (PC). Ils soulignent aussi l'importance de bien établir sa méthodologie d'acquisition du niveau LOD⁶ en planifiant sa mise en œuvre via des plans. Ces plans réduisent l'apparition d'auto-occlusions et le temps passé sur site. Cependant, d'autres facteurs influencent sur la qualité du relevé, tels que l'environnement, les conditions météorologiques ainsi que le type de matériaux (couleur, surface, opaque ou transparente).

En conclusion, les appareils TLS sont faciles d'utilisation et ils sont efficaces pour obtenir des données. Néanmoins, l'acquisition de tels appareils est onéreuse. De plus, si le projet est de plus grande ampleur, alors la durée du chantier sera excessive à cause de la lenteur de traitement de données par les logiciels. Une solution avancée est de combiner différents appareils afin d'acquérir de meilleurs résultats.

⁶ Site my digital buildings (<https://www.mydigitalbuildings.com/glossaire/level-of-detail>) décrit le LOD (Level Of Detail)/ le niveau de détail « correspondant à la précision géomatique d'une maquette numérique ».

3.1.1.2 SLAM

La lasergrammétrie terrestre dynamique a d'abord été développée pour l'extérieur avec un principe de fonctionnement basé sur le Mobile Mapping Systems (MMS). Un véhicule doté de roues odométriques, d'une centrale inertielle (IMU) et guidée par un système de positionnement par satellite dit GNSS⁷ et de capteurs imageurs (caméras, scanners laser). Toutefois, dans des espaces intérieurs, il n'est pas possible d'utiliser le GNSS.

C'est pourquoi ce système a été modifié pour fonctionner dans des espaces fermés avec la technologie SLAM (Simultaneous Localization And Mapping). Le SLAM effectue un déplacement dans l'ensemble de l'environnement intérieur, puis reconstruit l'espace en 3D. (voir, Figure 7).

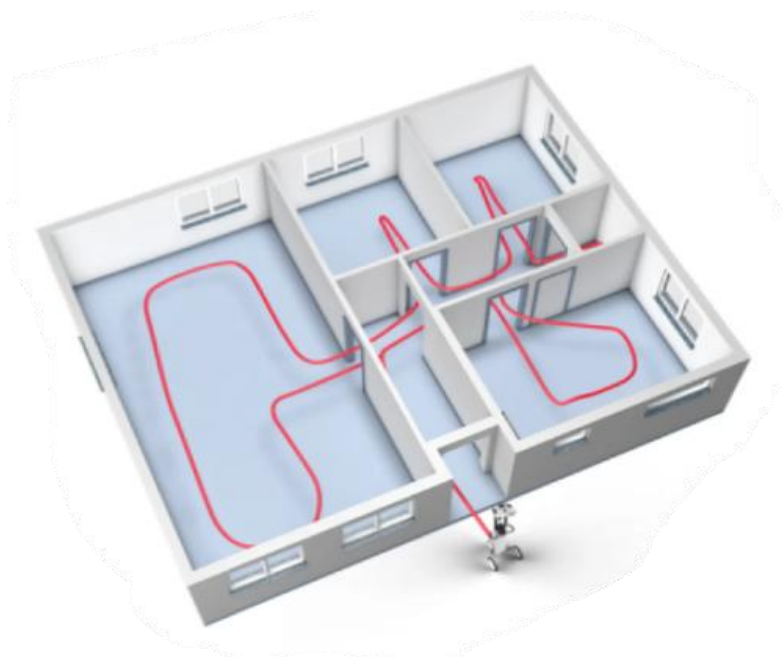


Figure 7 : Principe de circulation avec un système SLAM. Source NavVis. (2025). Le guide définitif de SLAM de cartographie mobile. Qu'est-ce que la localisation et cartographie simultanée (SLAM)? Consulté le 3 mars 2025, à l'adresse <https://fr.navvis.com/technology/slam>

⁷ Selon le site Mobatime (<https://www.mobatime.com/fr/support/faq/what-is-the-difference-between-gnss-and-gps>) le GNSS correspond à la Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites inclut GPS (américaine), Galiléo (européen), GLONASS (russe), Beidou (chinois).

Le système SLAM s'inspire de la robotique. Il existe sous différentes formes (chariots à roulettes, systèmes à positionner sur le dos de l'utilisateur, ou scanners à main) (voir Figure 8). De plus, il dispose de scanners et peut posséder des caméras.

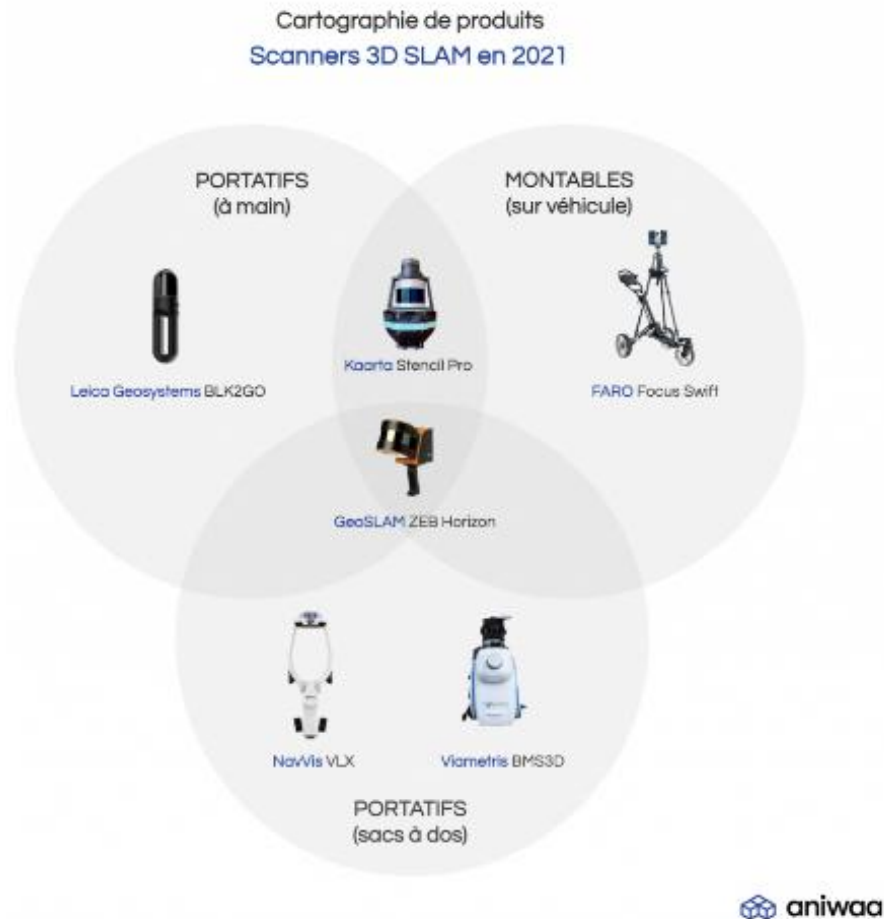


Figure 8 : Les différents Scanners 3D SLAM. Source Cherdo. (2020). Scanners 3D dynamiques (SLAM) et cartographie mobile : guide complet. Consulté le 3 mars 2025, à l'adresse <https://www.aniwaa.com/fr/guide-achat/scanners-3d/scanners-3d-slam-cartographie-mobile-interieure/>

L'avantage principal des scanners 3D est qu'ils sont faciles et rapides d'utilisation lors de l'acquisition de données. Néanmoins, leur inconvénient est que les données obtenues sont moins fiables que les TLS. En effet, les nuages de points sont moins denses et contiennent plus de bruit. Cela peut être dû à des problèmes de dérive dans un relevé linéaire, c'est pourquoi il est recommandé de faire des boucles fermées. (Bagieu & Macher, 2023).

3.1.1.3 Comparaison TLS/SLAM

Afin de mieux appréhender ces deux méthodes d'acquisition TLS et SLAM, une comparaison des différents appareils présents sur le marché s'impose.

Selon l'étude menée par Gharineiat et al. (2024), les scanners SLAM, tels que le NavVis VLX et le BLK2GO, offrent des solutions portables pour l'acquisition de données 3D. Dans les tests de précision, le NavVis VLX a obtenu une précision en intérieur avec un écart-type de 8 mm et un RMSE (erreur quadratique moyenne) supérieur à 5 mm pour les relevés en boucle normale. Tandis qu'en extérieur, les écarts varient de 10 mm à 60 mm selon la configuration, avec une déviation importante sur l'axe horizontal avec un RMSE de 63 mm lié aux poteaux électriques.

Par rapport aux scanners TLS (comme le Z+F Imager 5016) et aux stations totales (TS), le SLAM s'avère beaucoup plus rapide, 2 minutes et 45 secondes contre 70 minutes pour le TLS, mais avec une densité de points et une précision légèrement inférieure. Les méthodes de comparaison nuage-à-nuage montrent également de meilleures précisions par rapport aux approches nuage-à-maillage. De plus, les tests de détection de bords révèlent une diminution de la qualité avec l'éloignement, notamment au-delà de 7 m pour le BLK2GO.

La recherche montre que les scanners SLAM sont adaptés aux relevés rapides et flexibles. Elle suggère aussi d'améliorer les algorithmes d'extraction automatique de caractéristiques afin d'optimiser la précision des nuages de points sur de longues distances. Toutefois, plusieurs facteurs influencent la précision des scanners SLAM. Des facteurs prioritaires sont utilisés en arpentage, comme la vitesse et la flexibilité qui sont plus déterminantes que la fermeture de boucles. Ils démontrent que le SLAM est plus rapide que le TLS et le TS sur terrain. La combinaison des données LiDAR avec l'imagerie capturée apporte des avantages, malgré une précision moindre en profondeur. Ces résultats inspirent confiance pour des utilisations variées et justifient des études futures sur l'impact des fermetures de boucles, de la vitesse de déplacements et des conditions environnementales sur sa précision du SLAM.

Une autre étude de la crypte de San Matteo à Salerne, effectuée par Campi et al. (2022), a comparé deux méthodes de relevé 3D pour documenter des environnements complexes. Le scanner laser statique Faro Focus 3D s120 (TLS) a permis une capture précise à ± 2 mm et une capture de 976 000 points par seconde, couvrant une distance de 120 m. En deux heures et six positions de scan, il a généré un nuage de 145 millions de points. Cette méthode fournit des détails extrêmement fins, mais montre des lacunes dans les zones difficiles d'accès, comme les voûtes des absides. À l'inverse, le système mobile NavVis VLX a effectué un relevé rapide en 11 minutes en marchant dans la crypte, avec une erreur de 6 mm et une acquisition de 600 000 points/seconde sur une portée de 40 m. Le NavVis VLX capture des données colorimétriques de haute qualité et couvre efficacement l'ensemble de l'espace, mais manque de précision pour les détails très fins. Lors d'analyses comparatives, le TLS a montré une meilleure fidélité pour les éléments décoratifs complexes (intrados et sculptures) avec une précision de 0,0014 m sur des surfaces très texturées, contre 0,0027 m pour le NavVis VLX, qui présente davantage de bruit sur ces détails (voir Figure 9).

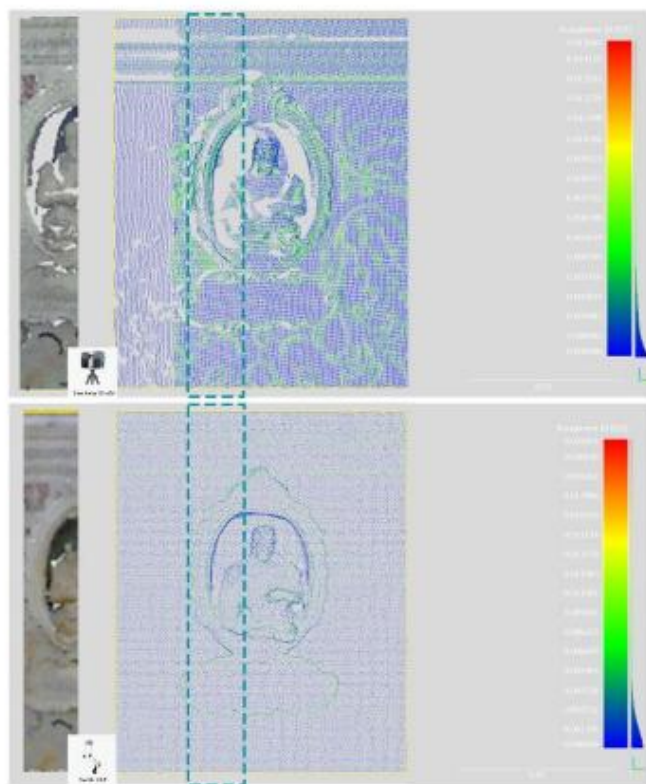


Figure 9 : Comparaison de rugosité de la statue en marbre entre TLS (en haut) et NavVis VLX (en bas). L'analyse a été réalisée en utilisant CC (sphère $r = 0,025m$) (Campi et al., 2022).

D'après Askar et al. (2023), ils analysent les performances de la précision des nuages de points et de leur bruit entre deux appareils, un scanner laser terrestre (TLS) ; le modèle Z+F Imager 5016 et un système de cartographie mobile portable ; NavVis VLX de deuxième génération. Cette comparaison est réalisée dans un environnement intérieur complexe des domaines de l'architecture, de l'ingénierie et de la conception (AEC).

Les résultats montrent que le NavVis offre des performances satisfaisantes avec une précision jusqu'à 2,5 cm par rapport à un nuage de point de référence. Cependant, il est moins net et précis que le TLS, sûrement dû à un manque d'une boucle fermée causant des problèmes avec les capteurs SLAM. Le système de cartographie mobile présente un faible niveau sonore, ce qui facilite la modélisation, permettant de capturer des éléments complets, comme les escaliers et offre un bon service de travail de post-traitement. De plus, le NavVis est également compatible avec d'autres applications dans le domaine AEC et à un niveau de mesure d'exigence de précision de LOA⁸ 20 et 30. Cependant, le second appareil, le TLS, est plus précis sur les arêtes vives malgré une collecte de données plus longue et nécessitant plus de main-d'œuvre (voir Figure 10).



Figure 10 : Relevé d'un escalier en haut avec un TLS et en bas avec un NavVis VLX (Askar et al., 2023).

Les auteurs Sammartano et Spanò (2018), soulignent également les problèmes liés aux erreurs de dérive des scanners portables à localisation et cartographie simultanées (SLAM), qui faussent sa précision. Pour résoudre ces problèmes, une trajectoire appropriée doit être utilisée. Pour cela, deux types de trajectoire sont possibles, soit des boucles de fermeture commençant et se terminant au même endroit en faisant attention de ne pas pivoter trop vite autour des coins, ou soit des points de contrôle.

En outre, le système SLAM est prometteur pour les milieux intérieurs. En effet, il résout les problèmes d'occlusion, accélère le processus et offre des données satisfaisantes dans des environnements difficiles d'accès. Même s'il est moins précis que les scanners laser terrestres, il pourrait être combiné avec d'autres méthodes d'acquisition afin d'obtenir des détails plus fins.

⁸ LOA : Niveau de précision « se réfère à la plage de tolérance acceptable pour les mesures du bâtiment recueillies au cours du processus de capture, ainsi qu'à la plage de tolérance pour la manière dont ces mesures sont représentées dans le modèle ». (Higgins, 2021).

3.1.2 Photogrammétrie

La photogrammétrie est une méthode permettant de reconstruire la forme tridimensionnelle d'un objet ou d'un environnement à partir d'un ensemble d'images photographiques. Elle repose sur une localisation rigoureuse des prises de vue dans l'espace, condition nécessaire à une modélisation 3D fidèle. Cette technique s'appuie sur le principe de la stéréoscopie (voir Figure 11), selon lequel un objet doit apparaître sur au moins deux images planes pour pouvoir être restitué en volume.

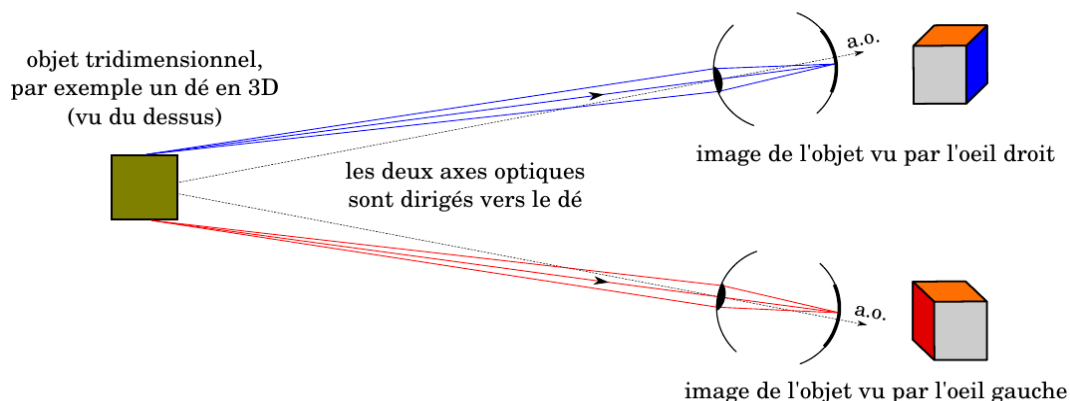


Figure 11 : Vision humaine pour l'obtention d'une image en trois dimensions. Source Wikimedia Commons. (2020).
Fichier : Principe optique de la vision stéréoscopique d'un objet tridimensionnel.png Consulté le 4 avril 2025, à l'adresse https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Principe_optique_de_la_vision_st%C3%A9r%C3%A9oscopique_d%27un_objet_tridimensionnel.png

Grâce aux avancées des années 2000 en matière d'algorithmes de traitement d'images et de données, la photogrammétrie s'est largement démocratisée. Aujourd'hui, elle est accessible à tous et permet de numériser et modéliser en 3D des objets ou des bâtiments (Bagieu & Macher, 2023).

De plus, la photogrammétrie demande peu de connaissance technique de l'utilisateur. Elle est également plus flexible et fournit des données précises, denses et de qualité, même pour des objets complexes. Elle peut être combinée à un véhicule aérien sans humain à bord (UAV), ce qui la rend intéressante dans les relevés de sites patrimoniaux plus vastes ou à des altitudes plus élevées. Selon le type d'appareil utilisé, la photogrammétrie peut être terrestre, aérienne, sous-marine ou multispectrale, avec des résolutions variant de l'échelle du centimètre à celle du kilomètre (Luhman et al., 2013).

Cependant, le traitement des données photogrammétriques reste plus complexe. Des logiciels de traitement de données photogrammétriques d'images existent, tels qu'Agisoft Metashape. Cette plateforme génère des données spatiales 3D, utilisées ensuite dans les applications comme les systèmes d'informations géographiques (SIG), la documentation du patrimoine culturel, les mesures indirectes d'objets de différentes échelles ou pour la création d'effets visuels (Agisoft LLC, 2025).

Bien que la photogrammétrie soit encore émergente dans certaines régions, des projets pilotes dans le domaine archéologiques ont démontré tout le potentiel du logiciel Agisoft Metashape. Ce logiciel est un outil accessible, flexible et économique capable de reconstruire des modèles 3D précis avec une marge d'erreur inférieure à un millimètre, offrant ainsi une documentation fidèle. En revanche, le temps de traitement peut être plus long en fonction de la quantité de données à traiter et dépend de la puissance de la carte graphique de l'ordinateur (Martin-Moya, et al. 2020).

Finalement, la photogrammétrie est une méthode d'acquisition facile à mettre en place, mais la gestion des données est plus complexe à mettre en œuvre. Ces modèles servent ensuite de base pour la visualisation donnée.

3.2 Visualisation des données 3D

3.2.1 BIM

Le BIM (Building Information Modeling) est « un processus intelligent basé sur un modèle 3D qui permet aux spécialistes de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction (AEC) d'acquérir une compréhension intuitive et approfondie et des outils pour planifier, concevoir, construire et gérer des bâtiments » (Stylianidis, 2020).

Le BIM est une méthode de travail collaboratif reposant sur l'utilisation de maquettes numériques 3D intégrant l'ensemble des données nécessaires à chaque phase du cycle de vie d'un projet en passant par la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance. Il facilite ainsi l'échange d'informations entre les différents acteurs en centralisant toutes les données dans un modèle virtuel unique et partagé (Allplan, s.d.).

Un modèle BIM contient des données spatiales, comme des formes en 3D capturées grâce au Lidar ou à la photogrammétrie. Mais il ne se limite pas à cela, il relie ces informations à une base de données qui décrit aussi le bâtiment. Par exemple, les matériaux utilisés, la taille des pièces, et l'organisation des systèmes comme le chauffage, la ventilation et la climatisation. Il agit donc comme un jumeau numérique du bâtiment physique. (NavVis, 2025).

3.2.2 HBIM

Le terme HBIM connu sous le nom de Heritage ou Historic Building Modeling, a été défini pour la première fois par Murphy et al., en 2009 comme « un nouveau système pour la modélisation des structures historiques ». (Stoleru & Jacquot, 2020). Cette méthode est spécifiquement adaptée aux enjeux de la documentation, de la conservation et de la gestion du patrimoine bâti ancien. Contrairement au BIM traditionnel, principalement utilisé pour des constructions neuves, l'HBIM s'applique à des édifices souvent complexes, irréguliers et marqués par des transformations successives. Il s'agit de produire un modèle numérique tridimensionnel fidèle à la réalité du bâtiment, intégrant non seulement sa géométrie précise, mais aussi des informations historiques, architecturales, matérielles et structurelles (Bruno & Roncella, 2019).

3.3 Médiation

3.3.1 Patrimoine phygital

L'exploitation des données recueillies sur le terrain est possible, mais elle requiert une maîtrise des logiciels spécialisés, souvent complexes à utiliser. Ces outils permettent d'accéder à des informations relatives à un site désormais inaccessible, et d'en proposer deux modes de visualisation distincts : une représentation en deux dimensions sur un écran, offrant une vue en perspective, ou une immersion en trois dimensions, via des dispositifs de vision stéréoscopique ou des environnements immersifs tels que la réalité virtuelle augmentée.

Le graphique représenté à la page suivante (voir Figure 12), proposé par Nofal et al. (2017) illustre une typologie du patrimoine "phygital", combinant les dimensions physique et numérique dans les dispositifs de médiation culturelle. Cette représentation visuelle vise à clarifier la manière dont les technologies peuvent être mobilisées pour enrichir l'expérience patrimoniale, en fonction de leur nature (digitale ou physique) et de leur degré d'ancrage contextuel (situé ou non situé).

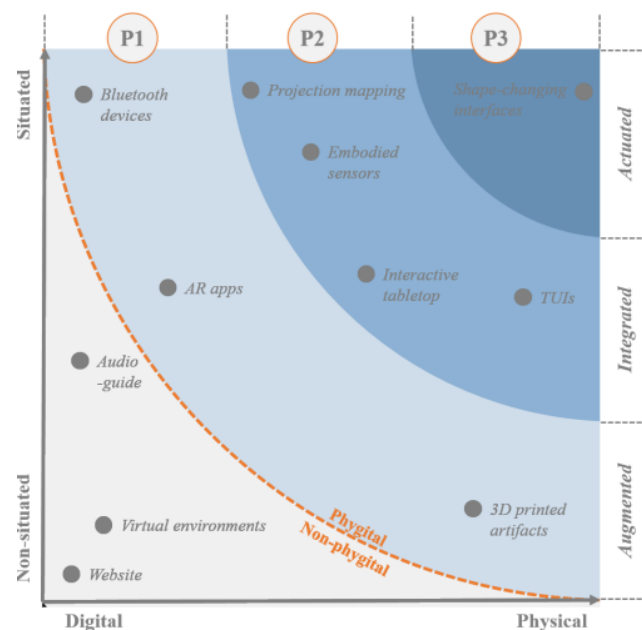


Figure 12 : « Modèle de patrimoine phygital, cartographié selon deux caractéristiques : l'accessibilité physique de l'information et le niveau de localisation de la manière dont cette information est communiquée » (Nofal et al., 2007).

L'objectif du patrimoine phygital est de dépasser l'opposition entre la médiation physique traditionnelle, comme les expositions ou les objets tangibles, et la médiation numérique, comme les applications ou les visites virtuelles, en articulant les deux de façon complémentaire. Le graphique met ainsi en évidence trois catégories d'intégration.

La première catégorie *P1 – Augmentée* regroupe les outils qui enrichissent l'expérience sans réelle interaction entre les composantes physiques et numériques. Il s'agit d'outils numériques qui s'ajoutent à la visite, comme les applications de réalité augmentée, les dispositifs Bluetooth ou les artefacts imprimés en 3D. Ces dispositifs prolongent l'expérience sans modifier la matérialité du patrimoine.

La seconde catégorie *P2 – Intégrée* correspond à une intégration plus poussée entre le numérique et le physique. Elle comprend des systèmes tels que la projection mapping, les capteurs embarqués, ou encore les tables interactives, qui transforment la perception du lieu en temps réel. Ces outils visent à enrichir l'expérience de manière interactive et localisée.

Enfin, la dernière catégorie *P3 – Actionnée* regroupe les dispositifs les plus avancés, caractérisés par leur capacité à réagir ou à se transformer. Les interfaces à forme changeante (shape-changing interfaces) ou les interfaces tangibles (TUIs) permettent une interaction dynamique avec l'environnement. Ces technologies mettent en œuvre une forte synergie entre physique et numérique, offrant une médiation immersive où le visiteur peut physiquement interagir avec le patrimoine. (Nofal et al., 2018).

Le graphique de Nofal et al. apporte un éclairage structurant sur la manière dont le patrimoine phygital peut être conceptualisé, catégorisé et mis en œuvre. Cette approche ouvre ainsi la voie à une valorisation du patrimoine plus immersive, interactive et accessible, capable de toucher des publics variés tout en préservant le lien avec les lieux et les objets patrimoniaux. Cependant, cette approche ne prend pas en compte les sites internet, l'environnement virtuel et l'audio-guide qui offre une appréciation du patrimoine indépendamment du lieu soulignant une approche digitale (Nofal et al., 2017).

Un an plus tard, Nofal et al. (2018), met en évidence l'importance des technologies numériques dans la diffusion et la communication du patrimoine culturel, offrant divers degrés d'immersion et d'intégration. Les écrans numériques basés sur l'interface utilisateur graphique (IUG) permettent la communication des valeurs et des significations du patrimoine, que ce soit à travers de grands écrans interactifs ou des tablettes tactiles. L'interaction tangible avec ces supports facilite la transmission de connaissance implicite sur le patrimoine bâti et enrichit l'expérience des visiteurs dans les musées. Par exemple, la maquette 3D offre une expérience physique plus influente sur la communication des valeurs patrimoniales, les modèles numériques qui encouragent les interactions sociales et permettent une estimation précise de certains aspects physiques.

3.3.2 Interfaces en ligne

Cette section s'intéresse particulièrement à des modalités de visualisation en ligne par la diffusion de modèles 3D sur des plateformes web. Cette mise à disposition numérique élargit l'accès aux données à divers publics, notamment aux chercheurs et au grand public.

À titre d'exemple, le projet de recherche Virtual Leodium a permis de produire une réplique virtuelle d'une maquette réalisée par Gustave Ruhl entre 1900 et 1910 (voir page suivante, Figure 13). Cette reproduction numérique présente un intérêt scientifique majeur, car l'original, représentant la ville de Liège en 1730, demeure difficilement accessible en raison de sa fragilité, de par ses dimensions réduites et des conditions de conservation particulièrement contraignantes. Conçu à l'aide des logiciels SketchUp et Maya, le modèle a été enrichi grâce à la collaboration des membres du Pôle Archéomatique de l'Université de Liège. Il offre désormais un support permettant l'intégration de contenus historiques et archéologiques supplémentaires, apportant ainsi de nouvelles informations à la maquette originelle (Van Rymbeke et al., 2012).



Figure 13 : Maquette Virtual Leodium project. Liège en 1730. G-Ruhl. Source DONum Dépôt d'objets . (s.d.). Plan-relief de la noble Cité de Liège en 1730. Consulté le 5 mai 2025, à l'adresse <https://hdl.handle.net/2268.1/13301>

Les bénéfices de la visualisation numérique sont également illustrés par le projet pluridisciplinaire franco-belge e.Thesaurus, qui emploie la plateforme eCorpus. Cette plateforme permet de diffuser la maquette de Ruhl auprès d'un large public, tout en préservant l'intégrité de l'original. L'interface autorise, par exemple, un zoom sur des zones précises, cette visualisation étant impossible sur la maquette physique compte tenu de son échelle réduite. Ce projet fédère historiens de l'art et spécialistes des sciences et techniques du numérique autour d'un objectif qui est l'enrichissement sémantique de modèles 3D d'objets d'orfèvrerie médiévale. Cette collaboration interdisciplinaire a été rendue possible grâce à la gestion autonome des données 3D offerte par la plateforme, ainsi qu'à la facilité de diffusion des modèles par un simple lien URL. En définitive, ces objets ont pu être restitués au public en réalité augmentée (voir Figure 14) (Gil & Hallot, 2019).

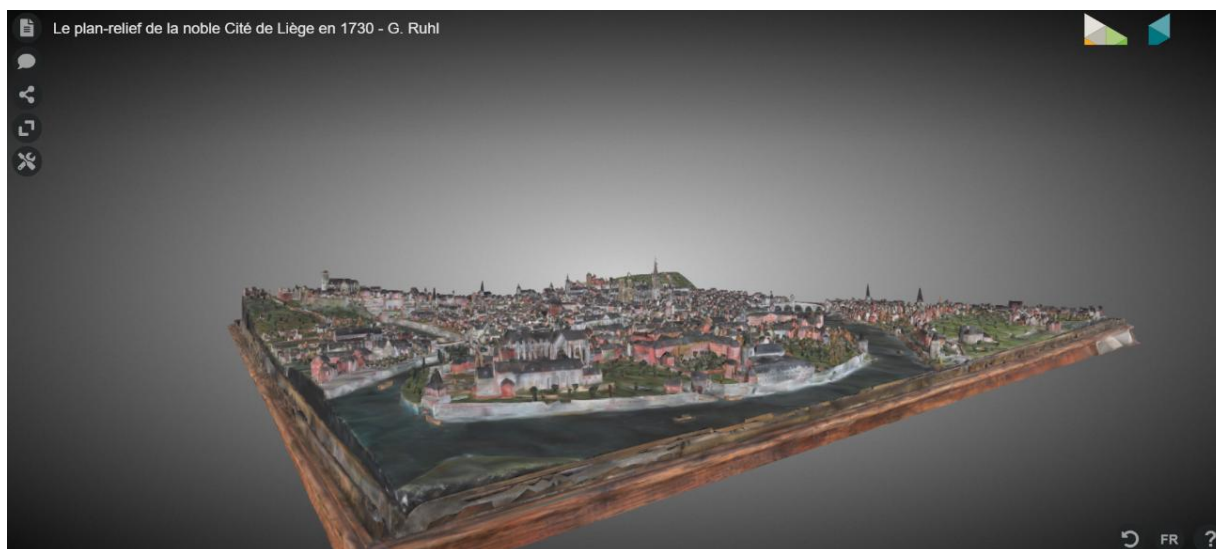


Figure 14: Maquette « le plan-relief de la noble cité de Liège en 1730 ». G. Ruhl. Source ethesaurus.uliege.be (s.d.) le plan-relief de la noble Cité de Liège en 1730. Consulté le 5 mai 2025, à l'adresse <https://ethesaurus.uliege.be/ui/scenes/Ruhl/view?lang=FR>

De nombreuses autres plateformes en ligne offrent aujourd'hui la possibilité de visualiser et d'explorer des modèles 3D de bâtiments patrimoniaux ou d'objets historiques. Une sélection représentative de ces solutions est présentée ci-après.

Dans une perspective davantage orientée vers le secteur AEC (Architecture, Engineering and Construction) et à destination des professionnels de la numérisation laser, la plateforme NavVis IVION a été développée pour la gestion en ligne de données spatiales issues de différents dispositifs d'acquisition. Elle propose des fonctionnalités d'annotation et de partage, facilitant ainsi la collaboration et la diffusion des relevés numériques (voir Figure 15) (Reisinger, 2021).

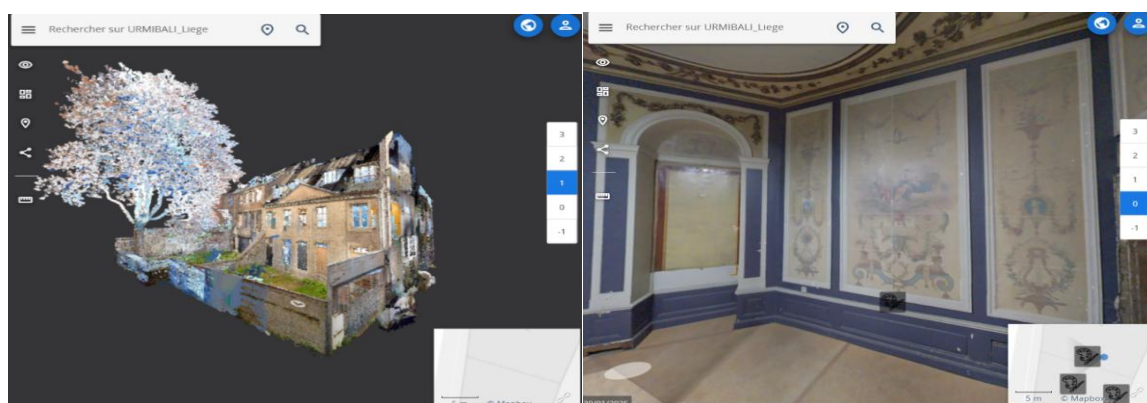


Figure 15 : La plateforme NavVis IVION « les Maisons sises n°9 et 10 », à gauche, une vue de l'ensemble des maisons en nuage de points : à droite, une vue d'une pièce en vue 360°. Source uliege.iv.navvis.com (2025). URMIBALI_Liege. Consulté le 5 mai 2025, à l'adresse <https://uliege.iv.navvis.com/?image=954821739186636>

Des travaux menés par Jouan et Hallot (2023), se sont penchés sur le potentiel de la plateforme NavVis IVION dans une perspective de communication et de conservation du patrimoine culturel. Les auteurs mettent en évidence l'intérêt des plateformes web et de la représentation virtuelle comme outils favorisant la compréhension et la préservation de sites patrimoniaux inaccessibles, tout en facilitant la collecte, la formalisation et la diffusion d'informations relatives à leur valeur culturelle.

Leur étude de cas, consacrée à l'observatoire de Cointe, a permis d'évaluer les avantages et les limites de deux plateformes, Woodlap et NavVis IVION, à travers une enquête menée auprès de deux groupes de participants. Woodlap s'est révélée particulièrement pertinente pour fournir des contenus didactiques et caractériser les profils des participants. De son côté, NavVis IVION a démontré une capacité notable à traiter les données issues des relevés en nuage de points, notamment ceux acquis avec le NavVis VLX ou d'autres dispositifs de capture. Cette plateforme propose ensuite une visualisation 3D du contexte existant. Toutefois, l'enquête a mis en lumière certaines limites, telles que l'absence de fonctionnalités permettant de visualiser l'évolution temporelle des bâtiments ou de moduler les conditions d'éclairage.

Pour permettre un accès collectif à la maquette IVION, un unique compte par groupe a été créé, contournant ainsi la restriction du nombre d'utilisateurs imposée par la plateforme. Chaque participant a ainsi pu ajouter des annotations sous forme de points d'intérêt (Points of Interest, POI). Cette configuration pourrait cependant avoir biaisé les résultats, dans la mesure où les annotations étaient visibles par tous les membres du groupe. Les auteurs soulignent, en conséquence, la nécessité d'une réflexion sur les modalités de récupération des données et sur l'expérience utilisateur, pouvant passer par une personnalisation de l'interface ou par la recherche d'une solution alternative.

En parallèle, d'autres plateformes accessibles au grand public proposent la visualisation de modèles 3D scannés de bâtiments patrimoniaux ou de musées. Parmi elles, MPEmbed et Matterport reprennent un fonctionnement semblable à celui de NavVis IVION. Elle offre des explorations immersives à 360° de chaque pièce, en mode libre ou guidé, avec intégration de points d'intérêt, ainsi qu'une représentation en nuage de points de l'ensemble des pièces numérisées. Cette combinaison rend l'expérience à la fois interactive et ludique pour les visiteurs. Un exemple notable est celui de la Maison d'Érasme, dont la maquette est intégrée et consultable via le site Scan My World (voir Figure 16) (<https://www.scanmyworld.com/nl/virtuele-scan-tourisme-training>).

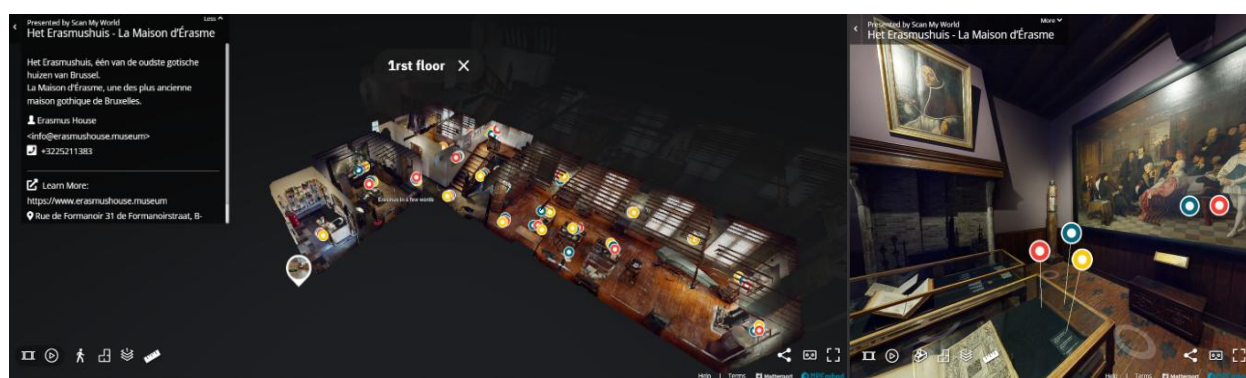


Figure 16: Plateforme MPEmbed et Matterport « la Maison d'Érasme » à gauche, une vue de l'ensemble des pièces en nuage de points ; à droite vue d'une pièce en vue 360°. Source Scan My Word. (2025). Het Erasmushuis- La maison d'Érasme. Consulté le 7 juin 2025, à l'adresse <https://www.scanmyworld.com/nl/virtuele-scan-tourisme-training>

Dans l'optique de rendre le patrimoine plus largement accessible au public, certaines approches privilégient la création de sites web. Ces plateformes en ligne offrent une diversité de modes de communication, allant du simple texte aux expériences immersives en réalité virtuelle.

En 2024, une étude a souligné que plusieurs de ces plateformes demeurent peu étudiées dans la littérature scientifique, notamment en ce qui concerne l'évaluation de leur efficacité. Parmi celles-ci figurent le langage R Markdown et la plateforme Observable utilisant le langage JavaScript (Wang et al., 2024).

Cette plateforme propose un environnement de développement interactif fondé sur des notebooks intégrant des bibliothèques de visualisation comme Observable Plot. Chaque cellule de notebook peut être configurée pour accueillir du Markdown⁹, du HTML¹⁰ ou du JavaScript¹¹, permettant ainsi la création de contenus interactifs variés. La plateforme en ligne et gratuite, Observable autorise de multiples utilisateurs à concevoir des notebooks à partir de codes insérés dans ces cellules, afin de générer notamment des tableaux dynamiques. Les visiteurs peuvent copier et réutiliser le code proposé (Observable, s.d.). À titre d'exemple, Ottenheimer (2023) a développé un notebook ludique en se mettant en scène comme journaliste chargé de présenter une visualisation de données. Il a enrichi sa page d'éléments interactifs en modifiant la palette de couleurs et les titres via le langage JavaScript. De son côté, Bumbeishvili (2021) a créé une expérience immersive en insérant plusieurs maquettes issues de Sketchfab par le biais de liens HTML, rendant ainsi ses modèles 3D directement consultables dans le notebook (voir Figure 17).

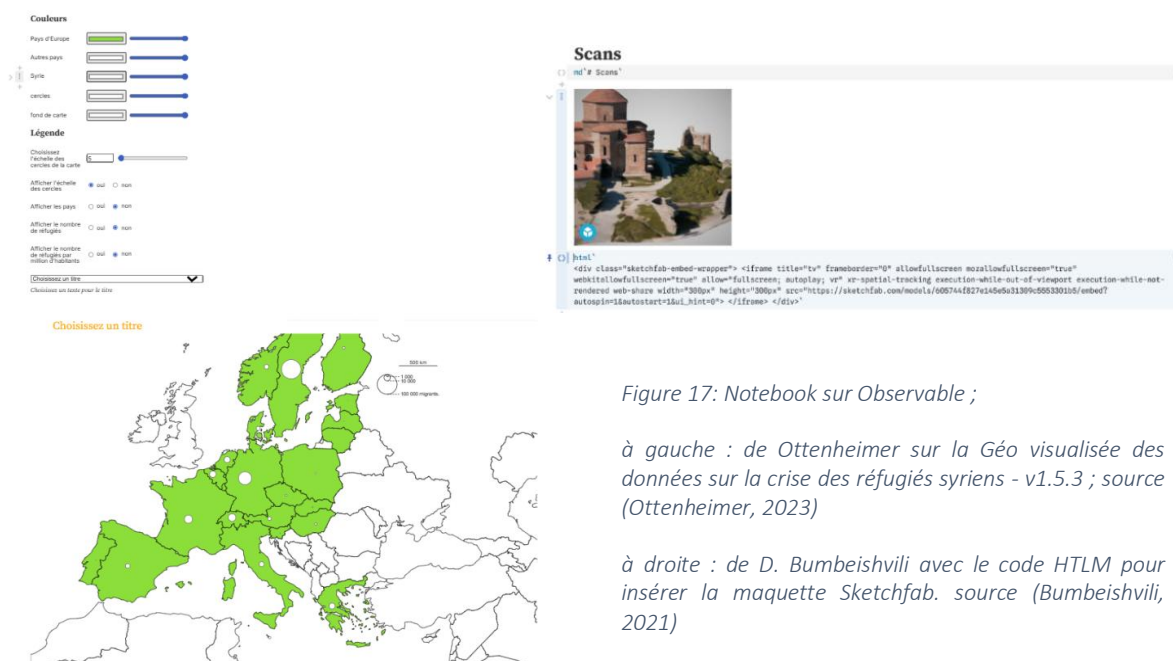


Figure 17: Notebook sur Observable ;

à gauche : de Ottenheimer sur la Géo visualisée des données sur la crise des réfugiés syriens - v1.5.3 ; source (Ottenheimer, 2023)

à droite : de D. Bumbeishvili avec le code HTML pour insérer la maquette Sketchfab. source (Bumbeishvili, 2021)

Ainsi, la plateforme Observable se distingue par sa capacité à regrouper des contenus issus de différentes sources web.

⁹ Langage de balisage simple utilisé pour le texte et la mise en forme (Observable, 2023).

¹⁰ Langage standard des pages web, dont les balises servent à styliser le texte ou à afficher des éléments tels que des graphiques (Observable, 2023).

¹¹ Génère des contenus interactifs, des graphiques et du code dynamique, tout en intégrant contenu Markdown et HTML (Observable, 2023).

Parallèlement, certains sites internet adoptent une interface similaire à celle des notebooks proposés par la plateforme Observable pour la diffusion et le partage de modèles 3D. Par exemple, le site officiel du château de Versailles intègre, au sein de ses pages, des zones de texte, des liens hypertextes, ainsi que des modèles issus de la plateforme Sketchfab afin de présenter et de visualiser en trois dimensions des objets et des salles numérisées (voir Figure 18). (<https://www.chateauversailles.fr/>).

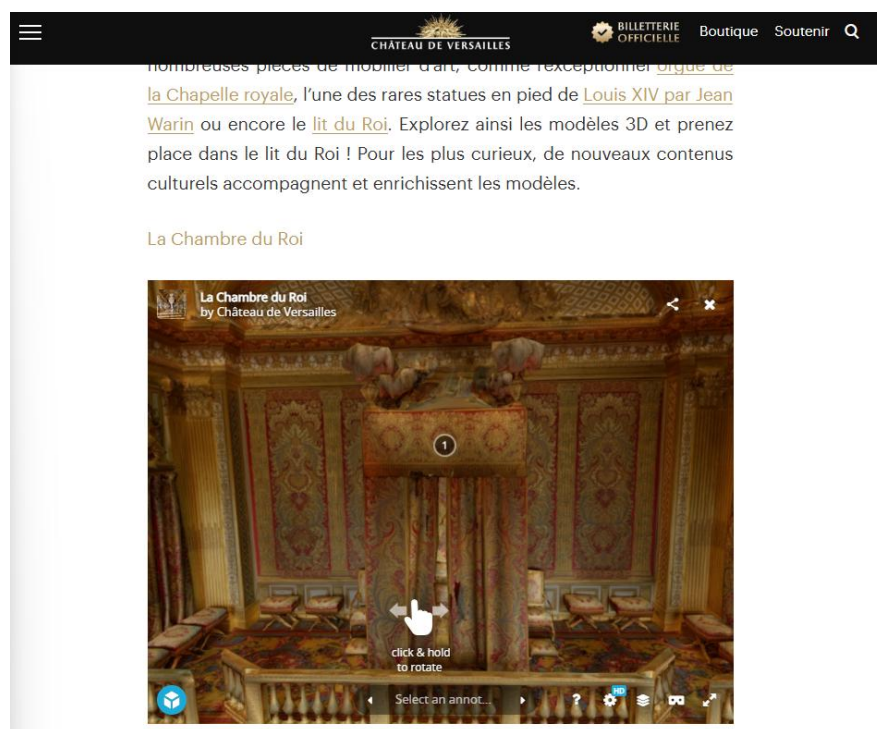


Figure 18 : Plateforme web du château de Versailles, visualisation virtuelle des modélisations 3D. Source Château de Versailles. (s.d.). Versailles en 3D. Consulté le 7 juin 2025, à l'adresse <https://www.chateauversailles.fr/decouvrir/ressources/versailles-3d-0#appropriiez-vous-les-lieux-et-les-uvres>

Concernant la plateforme Sketchfab, une analogie peut être établie avec eCorpus. Elle propose un service similaire en intégrant des modèles 3D enrichis d'annotations et en offrant la possibilité de naviguer virtuellement à l'intérieur des environnements modélisés.

Grâce à ces plateformes en ligne, il est devenu plus aisé de découvrir le patrimoine culturel. Elles mettent à disposition un vaste ensemble de ressources, allant des contenus textuels aux expériences immersives, en passant par des outils interactifs. Leur accessibilité numérique élargit l'audience potentielle comprenant chercheurs, étudiants ou simples visiteurs et contribue, de manière significative, à la transmission et à la préservation de l'accès à la culture.

3.3.3 Narration numérique

Les nouvelles technologies favorisent également l'émergence de nouvelles pratiques de médiation, intégrant la dimension narrative. Dans le domaine de la médiation culturelle, la visualisation numérique du patrimoine ne se limite plus à la simple représentation d'objets ou de bâtiments. Elle s'enrichit désormais de techniques narratives, comme le storyboard et le récit, qui permettent de concevoir des ambiances immersives, qu'elles soient sensorielles ou temporelles. Les recherches décrites ci-après mobilisent divers outils et méthodologies pour élaborer des récits, mettant en évidence les avantages de la narration numérique.

Caspani et al. (2017), mettent en évidence l'importance croissante des outils de narration numérique pour explorer la diversité du patrimoine culturel, notamment en exploitant les aspects temporels, visuels et géospatiaux. Ainsi, les connaissances sur le patrimoine culturel sont diffusées facilement grâce aux outils de numérisation.

Ensuite, dans un projet de recherche initié par Jouan et al. (2021), un environnement bâti virtuel est créé, représentant un site patrimonial inaccessible au public, la chapelle funéraire de Sennefer ou TT96A. En utilisant la photogrammétrie et la radargrammétrie, les chercheurs ont capturé le site avec un haut niveau de détails. Ils ont choisi un modèle à surface lisse pour éviter d'obtenir un fichier lourd à partir du relevé photogrammétrique. Ils ont pu reconstruire fidèlement l'atmosphère du site. En effet, grâce aux technologies de simulation et d'animation 3D de la trajectoire du soleil dans la chapelle, ils ont développé différentes approches afin de rendre au mieux l'éclairage original. Cette représentation offre donc une expérience immersive où la communication narrative d'un récit spécifique guide les utilisateurs et favorise leur implication de différentes manières, rendant l'expérience plus immersive malgré un patrimoine inaccessible.

Enfin, le projet européen INCEPTION a développé une plateforme web interactive permettant d'explorer des bâtiments patrimoniaux en 3D, grâce aux technologies comme le BIM, la réalité virtuelle et la réalité augmentée. Cette plateforme vise également à conserver numériquement ces patrimoines. Leur objectif est de rendre le patrimoine plus accessible, compréhensible et interactif, notamment avec une fonctionnalité de « Time Machine » qui restitue les évolutions des édifices au fil du temps. Cette plateforme est accessible via un lien URL et permet de consulter des modèles 3D disposant d'informations sur la conception et la fonction originales des bâtiments. Toutefois, ce projet nécessite un investissement important (University Degli Studi Di Ferrara, 2021).

Ces différents projets illustrent le potentiel des technologies numériques pour préserver, représenter et rendre accessible un patrimoine bâti par des expériences immersives et narratives. De plus, ces outils favorisent une expérience immersive et narrative qui enrichit la compréhension et l'engagement des utilisateurs, tout en assurant la conservation numérique des patrimoines.

4 QUESTIONS DE RECHERCHE

Le sujet de recherche porte sur l'utilisation de plateformes de médiation web pour la communication autour du patrimoine. Il s'articule autour de plusieurs questions :

Quelles opportunités les outils numériques offrent-ils pour la documentation et la médiation du patrimoine bâti ? Quelles sont les contraintes liées à leur utilisation ?

Et plus précisément :

- Comment exploiter une plateforme web pour communiquer au sujet d'un bâtiment inaccessible, accidenté et de grande valeur patrimoniale, sur base d'un relevé numérique ? Les outils existants sont-ils adaptés à cet objectif ?
- Comment enrichir la présentation afin qu'elle dépasse la simple visualisation de données ? De quelle manière concevoir une narration numérique tirant parti de l'interactivité et de l'accessibilité offertes par ces supports envers les publics ?
- Quelles fonctionnalités spécifiques permettent de mettre en valeur les spécificités d'une médiation du bâti ancien ?
- La création d'un site web patrimonial basé sur un relevé 3D est-elle accessible à tous ?
- Quel intérêt un tel dispositif présente-t-il pour le grand public ?
- Quels sont les processus d'utilisation et les conditions de prise en main de ces outils ?

5 MÉTHODOLOGIE

Afin d'atteindre les objectifs de cette recherche, la méthodologie s'articulera autour des étapes suivantes : analyse du cas d'étude, collecte et gestion des données, élaboration du storyboard, production des documents, conception du site web, puis analyse critique.

5.1 Analyse du cas d'étude

Le cas étudié dans ce mémoire est l'ancienne infirmerie des moines de l'abbaye de Saint-Jacques, située à Liège. Ce vestige médiéval, dissimulé derrière des façades donnant sur la rue datant du XIX^{ème} - XX^{ème} siècles, constitue le dernier bâtiment conventuel épargné de l'abbaye de Saint-Jacques. (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

Ce site présente un intérêt exceptionnel, tant par sa valeur historique que par son état de conservation.

Dans l'histoire de la ville de Liège, le patrimoine bâti médiéval a longtemps été méconnu, une grande partie a disparu lors du sac de la ville par Charles le Téméraire en 1468. Ce dernier avait incendié la cité afin de la détruire. Cependant, des églises et un tiers de la ville échappa à la dévastation (Connaître la Wallonie, s.d.). Par la suite, en 1785, confrontés à l'incapacité des moines à respecter les règles de l'ordre monastique, ceux-ci demandèrent au pape la sécularisation¹² de l'abbaye. Les bâtiments claustraux sont alors démolis, loués, vendus ou transformés en maisons (Warzée, 2022).

Dans le cadre de ce mémoire, plusieurs étapes ont permis d'approfondir la compréhension de l'évolution historique du site :

- Le 22 avril 2024, j'ai eu l'opportunité d'assister à un relevé effectué par Madame A. Schreurs, utilisant l'outil NavVis VLX de deuxième génération, au sein des bâtiments. Cette expérience m'a permis d'observer les particularités architecturales ainsi que leur organisation spatiale.
- Le 15 octobre 2024, j'ai pu m'entretenir avec Madame C. Bolle, architecte experte en archéologie du bâti, maître en restauration du patrimoine architectural et urbain à UCLouvain, et attachée au Service public de Wallonie (Agence du Patrimoine), qui étudie ce vestige. Cet entretien a enrichi mes connaissances sur le site et a été complété par l'analyse de publications consacrées à l'ancienne infirmerie des moines.
- Le 30 janvier 2025, Madame C. Bolle a d'abord effectué une visite préalable des lieux, suivie, le même jour, du relevé réalisé dans le cadre de ce mémoire.

¹² Transformation d'un lieu ou d'une organisation religieuse (comme une abbaye, un monastère ou des biens ecclésiastiques) en une entité laïque. (Le Petit Robert, 2023).

Ces démarches m'ont permis de me rendre compte de la grande complexité de ce patrimoine. En effet, au fil des années, les anciens occupants du site ont choisi de superposer de nouvelles structures aux anciennes, au lieu de démolir les structures existantes. Ces éléments permettent de mieux comprendre l'évolution du bâtiment, ses transformations successives, la manière dont les habitants se sont approprié les espaces, ainsi que les liens entre décor, fonction et structure (Bolle et al., 2014). Ces éléments témoignent de la continuité historique, de la résilience des structures anciennes, d'un intérêt à la fois à caractère scientifique, didactique, éthique, artistique et symbolique (Bolle & Léotard, 2002). L'ensemble souligne l'importance de sa préservation et de sa mise en valeur.

Dans cette perspective, le « Centre wallon d'archéologie du bâti » CWAB envisage de s'implanter dans ce lieu pour la formation, la recherche et la diffusion et y développer des activités ouvertes au public. (Bolle et al., 2014) Des visites organisées ont déjà eu lieu pour sensibiliser le public. (Amormino, 2006).

L'objectif de cette étude est de sensibiliser le public à l'importance de la préservation du patrimoine architectural et historique via une plateforme interactive, en s'appuyant sur l'ensemble des données collectées. Ces informations seront explicitées dans le chapitre 6 et 9 de ce mémoire.

5.2 Collecte de données

Sur base des informations expliquées dans l'état de l'art, le choix s'est porté sur l'outil SLAM afin de récolter les données pour constituer en partie le support de médiation. L'appareil utilisé est le NavVis VLX de deuxième génération, prêté par l'Université de Liège. Cet outil permet une acquisition rapide et facile.

5.2.1 Système de cartographie mobile (NavVis)

Le scanner NavVis VLX de deuxième génération permet de réaliser de la cartographie mobile. C'est un système à positionner sur le dos de l'utilisateur, bien qu'une partie de son poids repose sur la taille grâce à une ceinture. Il est composé de deux capteurs LiDAR, de quatre caméras (de 20 mégapixels chacune), d'un logiciel SLAM et d'une unité de mesure inertielle (IMU), ainsi que d'un écran tactile qui fournit des informations en temps réel sur la zone en cours de scannage (voir page suivante, Figure 19) (NavVis, 2024).



Figure 19 : Description du NavVis VLX deuxième génération dépliée. Annoté par M. Bauvir à partir de la source NavVis Knowledge Base. (2025). Localisation des pièces de votre NavVis VLX. Consulté le 8 avril 2025, à l'adresse <https://knowledge.navvis.com/docs/locating-the-parts-of-your-navvis-vlx> et d'image Source Géomatching (2025). NavVis VLX2. Consulté le 8 avril 2025, à l'adresse <https://geo-matching.com/products/navvis-vlx-2>

5.2.2 Protocole de relevé

Le protocole de relevé NavVis VLX de deuxième génération est rangé dans sa boîte de transport, comprenant différents accessoires (voir Figure 20).



Figure 20 : NavVis VLX 2ème génération dans sa boîte de transport et annoté sur base de la source NavVis knowledge base (2025). Introduction. Consulté le 8 avril 2025, à l'adresse <https://knowledge.navvis.com/docs/hardware-setup-instructions> . Photographie personnel: © M, Bauvir (Le 22 avril 2024).

Un ensemble d'informations techniques concernant l'outil NavVis VLX de deuxième génération est disponible sur le site NavVis Knowledge Base (<https://knowledge.navvis.com/>), incluant les procédures d'installation et son fonctionnement.

Pour installer l'appareil, celui-ci se déplie dans sa boîte à l'aide de la poignée, ensuite on serre les deux vis à l'aide de la clé dynamométrique. La carte SSD préformatée s'insère dans la fente située sur le côté du NavVis. Deux batteries sont installées de part et d'autre de l'appareil.

L'appareil se sort ensuite de sa boîte et se positionne de manière à ce que les crochets d'épaule et la ceinture reposent au sol. La propreté des capteurs se vérifie et, si nécessaire, un chiffon en microfibre permet leur nettoyage.

L'allumage s'effectue par pression sur le bouton d'alimentation. Un temps d'attente d'environ trente secondes est requis pour permettre à l'appareil de se configurer automatiquement sur un sol plat, sans déplacement, garantissant ainsi un calibrage optimal.

Une fois le NavVis calibré, la ceinture s'ajuste à la taille de l'opérateur afin de supporter la majeure partie du poids (environ 8,7 kg). Il faut soulever l'appareil et le fixer à la ceinture, ensuite les crochets se placent sur les épaules (voir Figure 21).

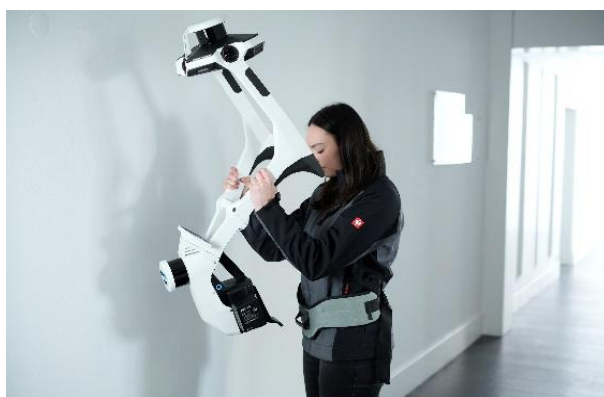
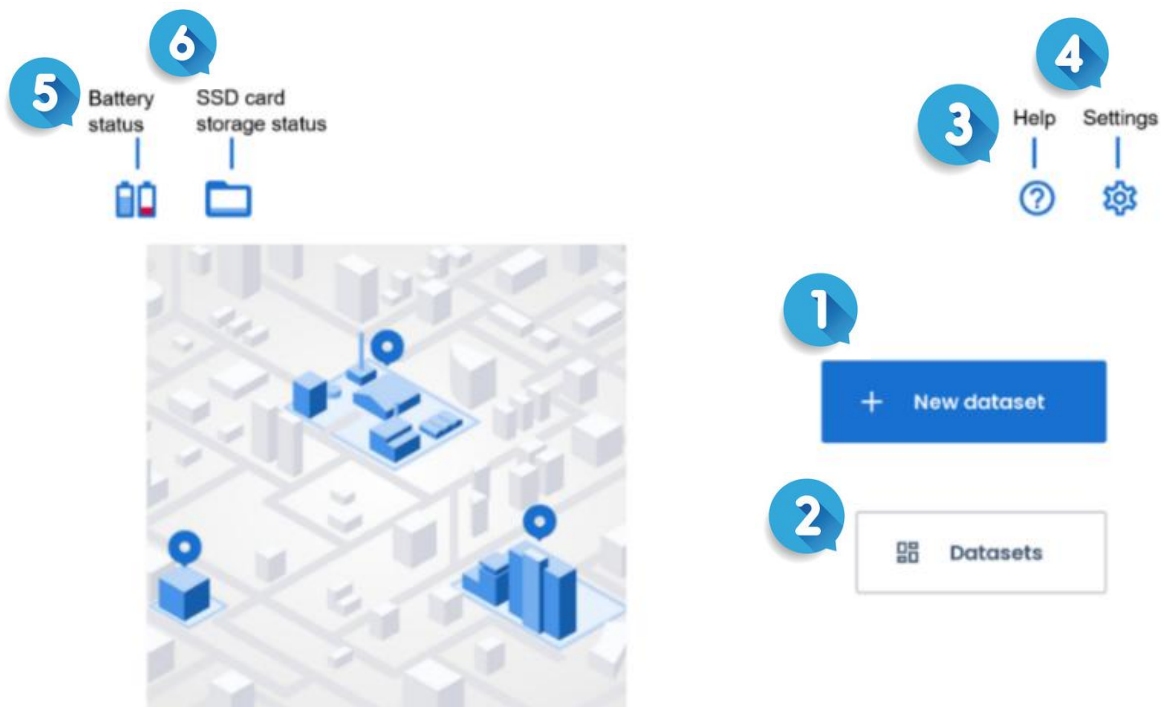


Figure 21 : Mise en place de la ceinture et du NavVis. Source NavVis Knowledge Base. (2025). Vérification de l'ajustement. Consulté le 8 avril 2025, à l'adresse <https://knowledge.navvis.com/docs/checking-the-fit>

Dès que l'appareil est en place, la numérisation débute via l'interface utilisateur (voir page suivante, Figure 22). La création d'un nouveau projet (« New Dataset ») nécessite la saisie d'un nom et la mention de l'étage concerné. La cartographie démarre en sélectionnant « Start Mapping », puis l'acquisition de données est activée lorsque l'opérateur pivote à 90° vers la gauche ou vers la droite. L'écran affiche en temps réel la carte, indiquant les zones déjà scannées, les positions et les images panoramiques enregistrées. Un indicateur visuel averti en cas de mouvements trop rapides en passant de gris à rouge, afin d'éviter toute perte de qualité des données. Des photos panoramiques peuvent être prises, soit automatiquement, soit manuellement. Le relevé s'effectue en suivant un cheminement fermé, ce qui permet d'éviter les risques de dérives (Bagieu & Macher, 2023).



- 1 **Nouveau jeu de données** : « étalonnage du capteur et l'enregistrement du jeu de données ».
- 2 **Jeux de données** : « ensembles de données enregistrés, voir aperçu des jeux de données sur le NavVis ».
- 3 **Bouton aide** : « conseil sur l'utilisation du NavVis et informations sur l'assistance technique ».
- 4 **Bouton Paramètres** : « régler le volume du système et les paramètres de la caméra, informations du journal et quitter l'application ».
- 5 **Etat de la batterie** : « les icônes de batterie indiquent le niveau de charge des deux batteries (en dessous de 20% celles-ci se mettent en rouge et un indicateur indique via l'icône quand les batteries sont vides et doivent être changé) ».
- 6 **Stockage de la carte SSD** : « l'espace de stockage disponible en pourcentage sur la carte SSD ».

Figure 22 : Détails et explications de l'interface utilisateur du NavVis. Source NavVis Knowledge Base. (2025). Démarrage du NavVis VLX. Consulté le 8 avril 2025, à l'adresse <https://knowledge.navvis.com/docs/starting-the-navvis-vlx>

5.3 Gestion de données

Les données brutes collectées sur site sont importées et traitées via la plateforme NavVis IVION en les associant aux données précédemment collectées. Elles sont hébergées sur le cloud et leur accès nécessite un identifiant. Cette plateforme permet de traiter les données et de conserver en ligne le jumeau numérique, sous forme de nuage de points ou d'images panoramiques annotées. La gestion de données, l'intégration des points d'intérêt suivent les étapes recommandées dans la documentation du site NavVis Knowledge Base.

La gestion de données s'est effectuée selon le processus d'utilisation suivant :

1. L'importation des fichiers bruts via l'onglet de traitement de données sur l'interface de téléchargement, soit en cliquant sur « Télécharger les données », soit en glissant-déposant les fichiers.
2. La création d'une tâche de traitement en sélectionnant les données à traiter, avec la définition d'une résolution du nuage de points à 5mm, l'activation de la colorisation des nuages de points grâce aux images panoramiques, le choix du mode « environnement standard »¹³ et l'activation du format e57¹⁴.
3. L'alignement des nouvelles données avec celles de l'année passée, en passant par la configuration du site, puis l'option d'alignement du jeu de données. L'alignement est effectué manuellement, aucun point de contrôle n'ayant été relevé au préalable via une station totale pour le géoréférencement.
4. La modification du modèle du site, via la configuration du site dans l'onglet « Modèle de site », avec l'ajout du quatrième étage au numéro 10 et les sous-sols au numéro 9 et 10.
5. Le nettoyage de points pour masquer les bruits indésirables, via la configuration de site et aller dans nettoyage de point.
6. L'enregistrement et la publication de la maquette NavVis IVION pour sauvegarder les modifications et rendre le brouillon du projet accessible.
7. L'intégration des points d'intérêt (POI) s'effectue par la création de groupes et de sous-groupes dans l'onglet « Types de point(s) d'intérêt ».
8. Un contrôle de qualité des données clôture la récolte des données.

Un retour d'expérience détaillé sur ces différentes étapes est présenté dans le chapitre 8, suivi d'une analyse de la qualité des données.

¹³ Selon le site NavVis Knowledge Base (<https://knowledge.navvis.com/docs/point-cloud-and-panorama-settings-1>) Le mode environnement standard est un mode recommandé pour les environnements intérieurs plus grands, permettant de créer des nuages de points de haute qualité.

¹⁴ Selon le site fileinfo.com (<https://fileinfo.com/extension/e57>) le format e57 est un format utilisé pour stocker des données de nuages de point capturées par un système Lidar

5.4 Création d'un storyboard

La création d'un storyboard constitue une étape essentielle dans la conception et la planification du prototype. Il sert de support de réflexion, en permettant de structurer la narration et d'organiser les éléments visuels et textuels nécessaires à la production des documents. Ce processus favorise la cohérence du récit, tout en facilitant l'anticipation des besoins techniques et créatifs. Pour l'élaboration du storyboard, deux applications ont été mobilisées.

Tout d'abord, Procreate est une application de dessin sur tablette offrant un système de calques. Elle permet de réaliser des illustrations à main levée, d'intégrer et de retravailler des images issues de la littérature scientifique ou de la maquette NavVis IVION, et de tester différents rendus visuels afin de mettre en valeur les éléments les plus pertinents.

Ensuite, GoodNotes quant à elle, est une application de prise de notes et de gestion visuelle. Elle est utilisée pour regrouper des images et des textes, afin d'expérimenter diverses mises en page et sélectionner les configurations les plus efficaces pour la narration et la médiation.

5.5 Création des documents

Pour la création des documents, la production a été répartie en deux catégories, les documents 2D et les documents 3D.

Pour les documents 2D, cinq outils numériques ont été mobilisés :

- La plateforme Sora est une intelligence artificielle utilisée pour générer des bandes dessinées.
- L'application Procreate permet de concevoir des croquis d'éléments 3D en format PNG¹⁵.
- Le logiciel PointCab est employé pour produire des plans d'étages, des coupes et des élévations sur base de l'importation de la maquette NavVis IVION en format e.57. Ces documents sont enregistrés aux formats DWG ¹⁶et PNG.
- Le logiciel AutoCAD permet d'ouvrir les fichiers DWG créés dans PointCab, les mettre à l'échelle, générer des rendus en PNG et redessiner certains éléments avant exportation en format PDF.
- Le logiciel Affinity est un logiciel de retouche et de mise en page, permettant de retravailler les rendus des documents issus d'AutoCAD et de Sora par calques, puis de créer des compositions visuelles pour ensuite les exporter en format PNG.

Concernant les documents 3D, deux logiciels et une plateforme ont été utilisés pour concevoir une maquette numérique.

- Le logiciel Agisoft Metashape est choisi pour le traitement des données de la photogrammétrie des façades à rue des maisons analysées. Il permet de produire une ortho-image et un modèle simplifié au format OBJ¹⁷.
- Le logiciel 2D/3D Open source Blender est utilisé pour réaliser une maquette de contexte en 3D sur la base du modèle simplifier OBJ et de documents graphiques. Ce modèle est exporté au format GLB¹⁸.
- La plateforme web du projet e.thesaurus permet le stockage de données 3D et de données sémantiques. L'importation de la maquette de Blender est enrichie par des annotations, des articles, ainsi qu'une copie de la maquette de Ruhl de 1730.

¹⁵ Le site fileinfo.com (<https://fileinfo.com/extension/png>) définit PNG comme un format utilisé pour stocker les graphiques web, les photos et les images avec un fond transparent, sans compression.

¹⁶ Selon le site fileinfo.com (<https://fileinfo.com/extension/dwg>) DWG est un format de dessin 2D ou 3D contenant des données d'image vectorielle (formes et lignes) et des métadonnées (calques, cotes)

¹⁷ Le site fileinfo.com (<https://fileinfo.com/extension/obj>) explique que le format OBJ contient l'objet 3D, ses coordonnées, ses textures, ses faces polygonales et peut inclure des fichiers MTL pour les textures et ombrages.

¹⁸ Le site fileinfo.com (<https://fileinfo.com/extension/glb>) décrit que le format GLB est utilisé pour stocker des informations sur le modèle 3D, comme les nœuds, les caméras, les matériaux, les animations et les maillages.

5.6 Création du site

Pour la création du site web, la plateforme Observable a été choisie afin de concrétiser les idées issues du storyboard, en s'appuyant sur les documents graphiques 2D et 3D produits lors des étapes précédentes. Observable est particulièrement adaptée à ce type de projet, car elle facilite l'intégration et la visualisation interactive des données grâce à un environnement de codage accessible et collaboratif.

La conception du notebook repose sur plusieurs langages complémentaires :

- Le langage Markdown permet d'introduire et de structurer le contenu textuel de manière simple et lisible.
- Le langage HTML est utilisé pour intégrer des éléments multimédias essentiels, comme une carte interactive OpenStreetMap qui situe précisément le patrimoine étudié, ainsi que pour insérer des liens vers les maquettes 3D hébergées sur les plateformes spécialisées eCorpus et NavVis IVION. HTML permet également de créer une table des matières dynamique, améliorant la navigation dans le site, et d'ajouter des annotations enrichissant la compréhension des images et des plans.
- Le langage JavaScript apporte l'interactivité au site : il permet notamment d'intégrer des contrôles utilisateur, tels que des « checkboxes » (cases à cocher) pour activer ou désactiver l'affichage de certains éléments, et des curseurs « range » pour ajuster l'opacité des couches graphiques. Ces fonctionnalités interactives augmentent l'engagement de l'utilisateur, offrant une expérience immersive et personnalisée dans la découverte du patrimoine.

Ainsi, la combinaison de ces langages dans la plateforme Observable permet de transformer les documents statiques en un outil dynamique et intuitif, au service de la médiation numérique du patrimoine bâti.

5.7 Analyse critique

Le choix de l'abbaye de Saint-Jacques est particulièrement pertinent en raison de la richesse de son histoire, de son état de conservation et de son potentiel pour la recherche et la médiation culturelle. Peu documenté dans la mémoire collective liégeoise, ce vestige constitue un témoin rare de l'histoire médiévale de la ville, d'autant plus précieux qu'il a été partiellement épargné lors du sac de Liège en 1468. Malgré les superpositions architecturales postérieures, il offre un objet d'étude complexe et intéressant, à la fois sur le plan historique et scientifique.

La méthodologie adoptée, basée sur l'utilisation du NavVis VLX de deuxième génération et le SLAM, s'inscrit dans une approche non intrusive, rapide et précise pour le relevé d'environnements patrimoniaux fragiles. Ces outils permettent de capturer simultanément des données panoramiques 360° et des nuages de points tout en se déplaçant, avec la visualisation des données en temps réel. Néanmoins, certaines limites techniques doivent être prises en compte, l'appareil est conçu principalement pour des relevés en intérieur, sa précision est légèrement inférieure à celle des scanners laser terrestres, il est sensible aux mouvements brusques et ses dimensions peuvent représenter une contrainte dans les espaces à faible hauteur sous plafond ou lors du franchissement de passages étroits.

L'objectif de médiation à travers une plateforme interactive s'inscrit pleinement dans la logique d'ouverture des données patrimoniales et de leur accessibilité au grand public. Toutefois, l'efficacité de cette médiation dépend étroitement de la qualité de l'interface en ligne, incluant le storyboard, la navigation et l'ergonomie, ainsi que de la clarté et de la lisibilité des contenus pour un public non spécialiste. L'utilisation des outils NavVis IVION, PointCab, AutoCAD, Affinity, Procreate, Sora, Agisoft Metashape, Blender, eCorpus et Observable constituent un atout précieux pour la diversité des contenus proposés. Cependant, elle nécessite une harmonisation afin de garantir leur cohérence, leur qualité, leur pertinence et leur lisibilité pour l'utilisateur.

Par ailleurs, il serait pertinent de prolonger l'analyse critique de la réception du prototype par différents publics : chercheurs, étudiants, utilisateurs non spécialistes. Une évaluation qualitative ou quantitative, via des tests utilisateurs ou des enquêtes, permettrait d'objectiver l'impact réel de la plateforme et d'orienter ses améliorations futures.

6 CONTEXTE :
L'ANCIENNE INFIRMERIE
DES MOINES DE L'ABBAYE
DE SAINT-JACQUES

6.1 Aspects historiques

Cette section du mémoire s'appuie principalement sur le livre « L'église Saint-Jacques à Liège – Templum pulcherrimum. Une histoire, un patrimoine », publié en 2016 sous la direction de Dominique Allart, Mathieu Piavaux, Benoît Van den Bossche, Alexis Wilkin et Jean-Luc Charlier. L'analyse se concentre tout particulièrement sur le chapitre intitulé « L'infirmierie des moines, dernier vestige des bâtiments conventuels », rédigé par Caroline Bolle, Geneviève Coura et Jean-Marc Léotard. Un second ouvrage coécrit par ces mêmes auteurs « L'archéologie des bâtiments en question. Un outil pour les connaître, les conserver et les restaurer » de 2014, a également été analysé.

De plus, plusieurs articles issus des revues « Archaeologia Medievalis, Chronique de l'archéologie wallonne, Lettre au patrimoine et ICOMOS » ont été consultés, notamment ceux de Nancy Verstraelen, Denis Henrard, Pierre Van Der Sloot et Vanessa Amormino.

L'ancienne infirmierie des moines constitue un élément patrimonial remarquable, mais menacé de disparition en 2001. Située au cœur de la ville de Liège, elle faisait partie intégrante du complexe du domaine Abbatial Bénédictine de Saint-Jacques. Ce vestige a été dissimulé derrière des façades construites aux XIX^{ème} et XX^{ème} siècles de la place Émile-Dupont n°9 et 10) (voir Figure 23) (Bolle, Coura & Léotard, 2016). Il serait identifié comme le dernier vestige en élévation des bâtiments claustraux (Bolle & Léotard, 2002) (voir Figure 24).

L'ancienne infirmierie est un vestige en pierre, légèrement désaxée par rapport à la façade à rue et plutôt bien conservée (Bolle, Coura & Léotard, 2016). Les analyses menées à partir de sa typologie architecturale et des matériaux encore visibles permettent d'envisager une datation comprise entre l'époque de l'abbatiale de Drogon (1155–1173), période marquée notamment par le creusement du canal sous l'abbatiale, et les travaux du XIV^{ème} siècle. Actuellement répartie sur six niveaux, l'organisation spatiale de l'infirmierie était toutefois différente à cette époque (Verstraelen, 2014^a).



Figure 23 : Façades à rue des maisons sises place Emile Dupont n°9 et 10. Photographie personnelle : © M. Bauvir (Le 17 octobre 2024)



Figure 24 : Façades arrière des maisons (photographie : Philippe Géron © Liège, Archives de l'État (AEL) in situ 2002) (source Bolle, Coura & Léotard, 2016).

L'analyse de l'implantation de l'édifice au sein du complexe abbatial, tel qu'il existait au XIV^{ème} siècle, à partir du plan parcellaire primitif de 1827, révèle que les bâtiments monastiques étaient situés au sud de l'église abbatiale (Bolle, Coura & Léotard, 2016). Ce plan montre également la présence d'un cloître à l'emplacement de l'actuelle place Émile-Dupont, aujourd'hui disparu (voir Figure 25).

Le paysage urbain ayant fortement changé au fil des siècles, il devient difficile pour le grand public de visualiser le contexte architectural et spatial d'origine dans lequel ces bâtiments prenaient place.

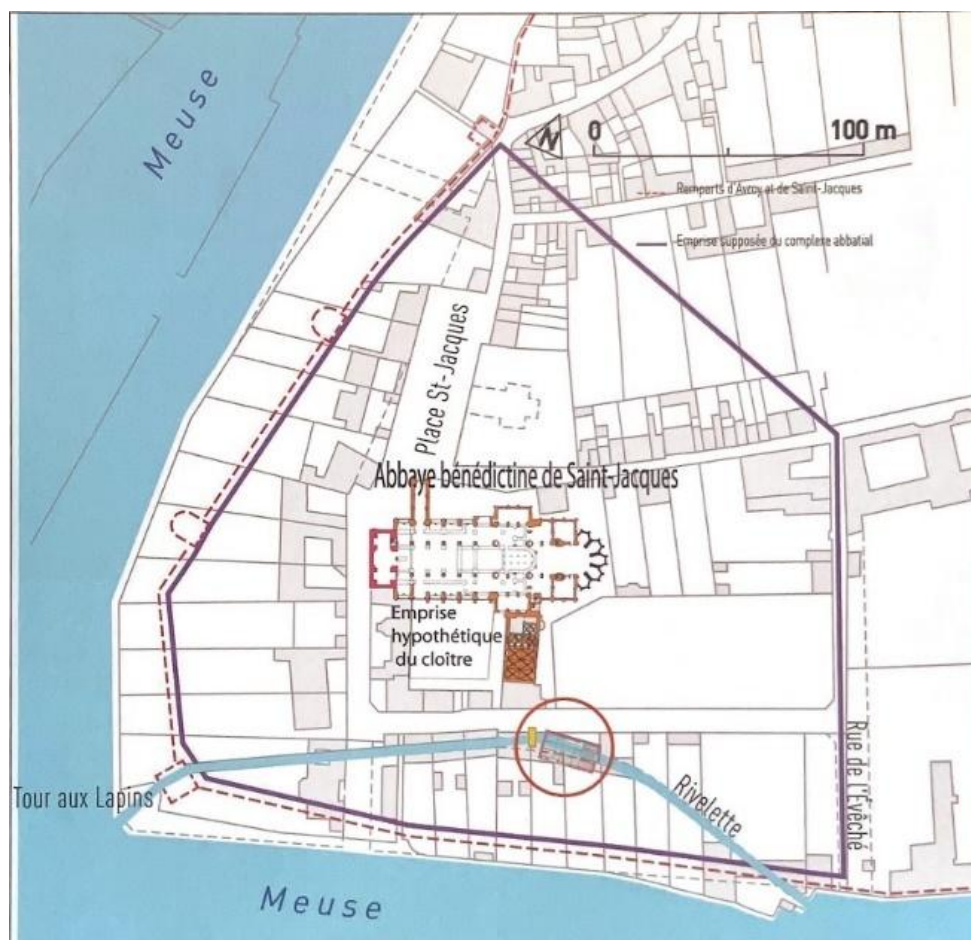


Figure 25 : « Implantation de l'infirmierie des moines étudiée au sein du complexe abbatial au XVI^{ème}, reportée sur le plan cadastral primitif de 1827. » Infographie : Olivier GILGEAN © Liège, Archives de l'Etat (AEL) SPW. Source (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

6.1.1 Vestiges antérieurs au XIV^{ème} Siècle

Située à l'extrémité orientale de l'aile sud du cloître (Bolle & Léotard, 2002), l'implantation des fondations repose sur le substrat sédimentaire d'un canal de dérivation des eaux de la Meuse (Verstraelen, 2014^a). Bien que les chercheurs aient délimité les frontières nord-est de l'édifice, son périmètre exact ainsi que sa volumétrie restent incertains. L'orientation particulière de la structure semble être influencée par le tracé du bief, qui s'incurve pour rejoindre le fleuve, et diffère de celle de l'abbatiale et du cloître (Bolle, Coura & Léotard, 2016). Ce bief servait à irriguer les vergers et à actionner un moulin. Une arcade permettant le passage de l'eau du chenal a d'ailleurs été mise à jour dans les caves des bâtiments étudiés (Bolle et al., 2007).

Positionnée au sud-est, à l'écart des autres bâtiments monastiques, la grande baie orientée à l'est suggère une fonction spécifique, probablement celle d'une infirmerie (voir Figure 26 et Figure 27). Cette hypothèse est appuyée par un document du XIII^{ème} siècle, qui mentionne l'existence d'une infirmerie proche du cloître, après la porte du dortoir, dans la zone correspondant à ces découvertes. La construction de cette structure pourrait remonter à l'époque de l'abbé Drogon (1155-1173), bien que la datation reste incertaine, avec une période de travaux qui pourrait s'étendre jusqu'aux travaux du XIV^{ème} siècle (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

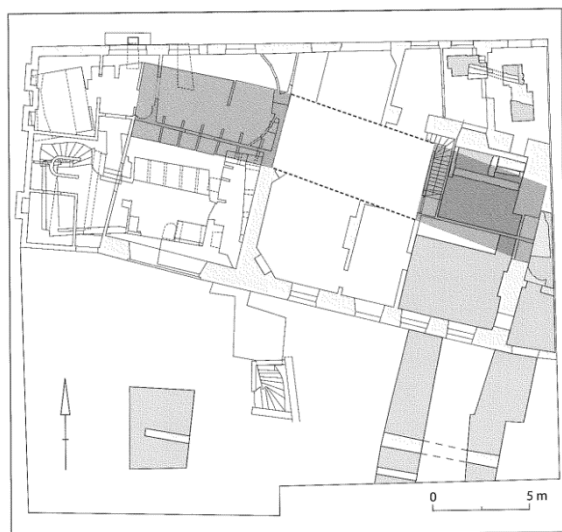


Figure 26 : « Plan des bâtiments n°9 et 10 de la place Emile Dupont. En gris clair : positionnement des sondages ; en gris foncé : tracé du bief sous l'édifice ». Source (Henrard & Van Der Sloot, 2007).

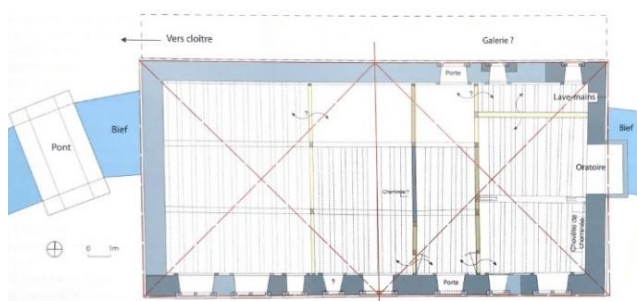


Figure 27 : « Plan reconstitué du rez-de-chaussée de l'infirmerie (au XIV^{ème} siècle) » Infographie : Anne Mélon ©Liège, Archives de l'État (AEL) SPW. Source (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

Les fouilles archéologiques ont révélé des structures antérieures au XIV^{ème} siècle, qui ont influencé les choix architecturaux ultérieurs de la région. Parmi ces vestiges, une couverture du bief en voûte en berceau est réalisée en moellons de grès houiller, reposant sur des grands murs en blocs de calcaire. Une large baie arquée échancre le pignon oriental (voir Figure 28), tandis qu'une maçonnerie similaire en grès houiller, incluant une porte, est conservée au rez-de-chaussée de la façade septentrionale (voir Figure 29) (Bolle, Coura & Léotard, 2016). Le grès houiller, extrait dans la région de Liège, est une pierre friable qui se retrouve souvent dans les constructions des parties romanes des églises, notamment à l'abbaye de Saint-Jacques (Lecouturier, s.d.).

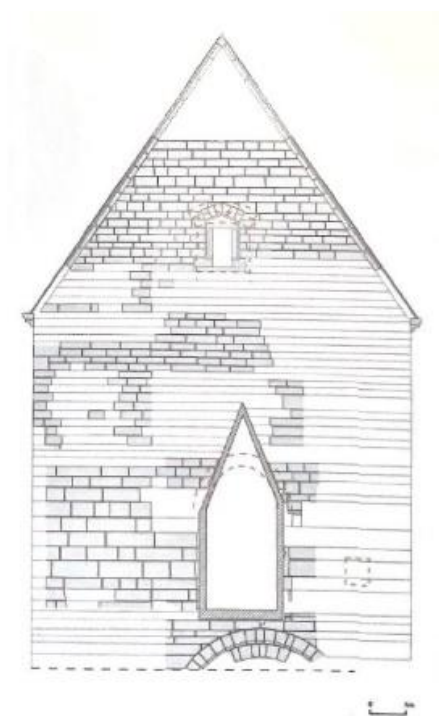


Figure 28 : « Relevé du pignon oriental et reconstitution du profil de l'oratoire ».

Infographie : O. Gilgean SPW-DG04.
Source. (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

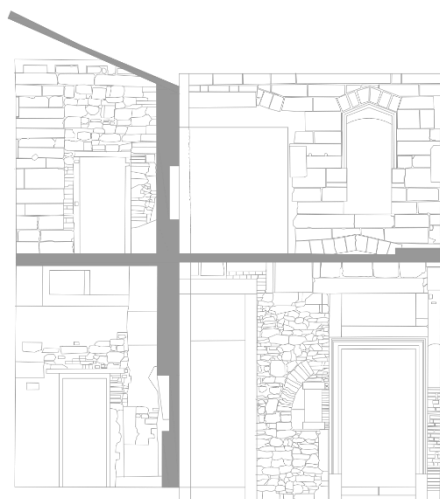


Figure 29 : Partie restante de la Façade septentrionale.

Infographie personnelle : ©M. Bauvir

6.1.2 Au XIV^{ème} Siècle

Au cours de la seconde moitié du XIV^{ème} siècle, l'infirmérie a connu deux phases majeures de construction. Les analyses dendrochronologiques situent la première phase entre 1363 et 1377, période au cours de laquelle l'enveloppe du bâtiment a été érigée sur la couverture du bief. Celle-ci comprend les façades réalisées en grand appareil de calcaire de Meuse, doublées d'un parement intérieur en tuffeau et surmontées d'une charpente mixte.

Le bâtiment comporte deux niveaux de vie sous combles, coiffés d'une toiture en bâtière. Les trois façades en calcaire de Meuse de cette infirmérie sont particulièrement soignées au niveau des proportions architecturales. Elles sont percées de baies surmontées de linteaux en forme de mitre. Le rez-de-chaussée abrite une haute baie arquée datant de sa phase initiale, située sur le pignon oriental (voir Figure 30) et menant probablement à un oratoire qui constituait une extension au volume, un espace essentiel à la liturgie de l'infirmérie (voir Figure 31). Le coutumier de Saint-Jacques précise d'ailleurs que l'infirmier avait également un rôle de prêtre, assurant la confession et la communion des malades. Cet oratoire a servi jusqu'au XVIII^{ème} siècle. (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

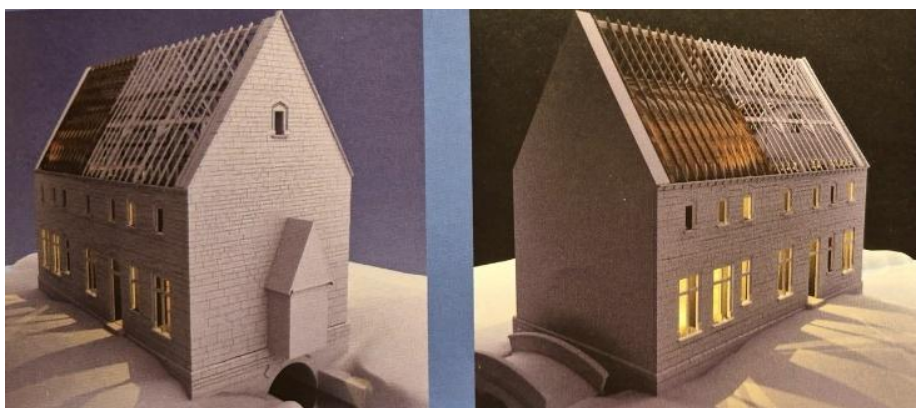


Figure 30: « Modélisation 3D de l'édifice au XIV^{ème} siècle » (caméras au sud-est pour la photo de gauche et au sud-ouest pour celle de droite) Infographie : O. Gilgean, © SPW- DG04. (Source Bolle et al, 2014).



Figure 31 : Vers « l'oratoire ». Photographie personnelle : © M. Bauvir (le 22 avril 2024).

L'enveloppe du bâtiment est conçue en suivant une géométrie simple, caractérisée par un rectangle formé de deux carrés associés, chacun mesurant 10,79 m de côté, soit 38 pieds de 28,4 cm, une unité de mesure utilisée dans la région de Liège jusqu'à la Renaissance. Cette géométrie stricte influence l'ensemble du bâtiment, notamment dans la composition des élévations et dans l'ordonnance des ouvertures (voir page suivante, Figure 32).

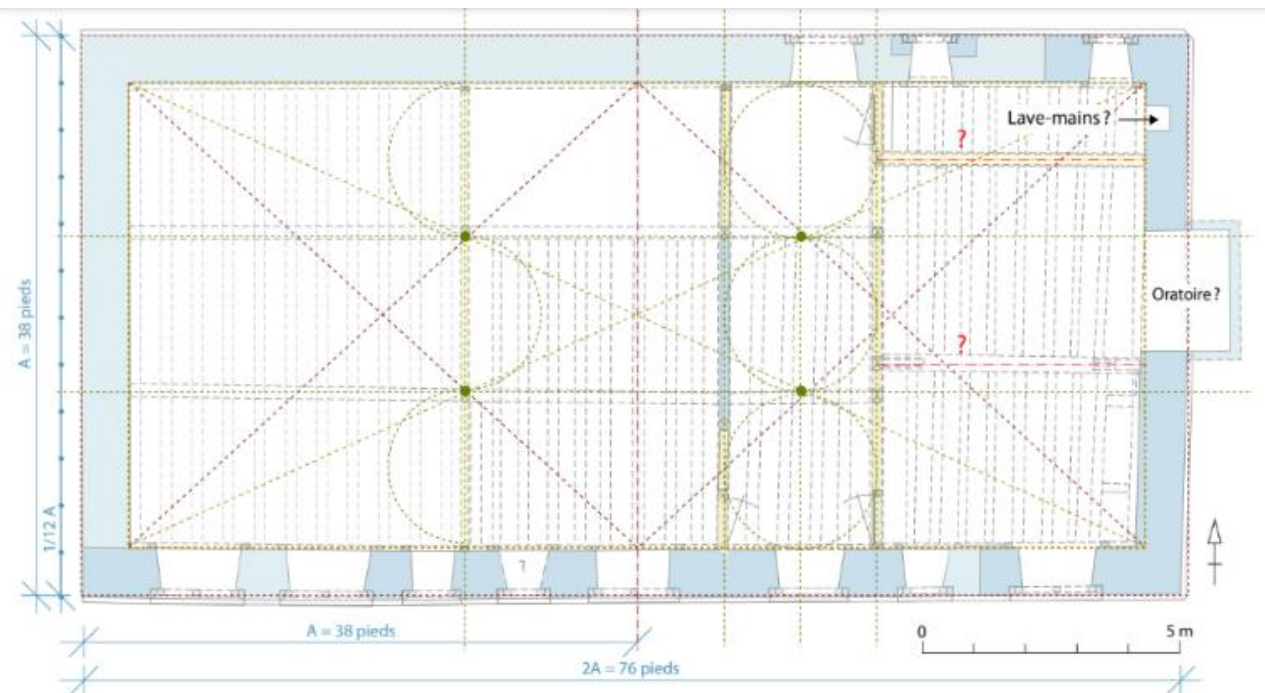


Figure 32 : « Recherche du tracé régulateur sur l'essai de reconstitution du plan du rez-de-chaussée au 14^e s. Seuls les sommiers localisés dans la zone orientale échappent à l'ordre établi, probablement en raison de la présence de l'oratoire, hérité d'une phase antérieure ». Infographie : A. Mélon et J.-F. Lemaire, © Liège, Archives de l'État (AEL) SPW-DGO4. Source (Bolle & Léotard, 2014)

Les études du tracé régulateur montrent que l'agencement spatial, les élévations, ainsi que les détails des fenêtres, s'appuient sur des principes géométriques bien définis. Bien que la façade méridionale soit partiellement disparue, son analyse révèle une composition rythmée de sept travées, chacune présentant une variété de baies, dont certaines à traverses et d'autres à croisée. (Bolle & Léotard, 2014^a).

La charpente en chêne est largement conservée et se compose de cinq fermes soutenues par de larges chevrons intermédiaires, formant une charpente mixte. Dans la partie orientale du bâtiment, la composition de la charpente suit un modèle classique (voir Figure 34) (Bolle, Coura & Léotard, 2004). Tandis que, dans la partie occidentale, deux de ces fermes délimitent une salle de 70 mètres carrés (Bolle, Coura & Léotard, 2003). Cette salle visible au premier étage est lambrissée, elle présente une voûte en berceau de 8 mètres de long. Elle se distingue par ses fermes polychromes et moulurées, décorées de fleurs en bois sculptées, de forme circulaire ou carrée, spécifiquement dans les parties à l'ouest qui délimitent la pièce (voir Figure 33) (Bolle, Coura & Léotard, 2016). Les chercheurs ont émis l'hypothèse que cette salle correspondait au quartier des malades (Bolle, Coura & Léotard, 2003). Cette salle des malades serait un lieu de prière, symbolisé par l'élévation spirituelle des âmes (Bolle et al., 2008).



Figure 34: « Modélisation 3D de la structure de l'édifice au XIV^{ème} siècle (caméra sise au nord-est) » Infographie : O. Gilgean, © SPW- DG04. Source (Bolle et al., 2014).



Figure 33 : « Fleurs en bois décorant la ferme orientale de la charpente lambrissée ». © SPW. DG04 Source (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

Cependant, ce chantier de grande envergure a été brusquement interrompu, probablement en raison de l'incendie de 1369. Bien que ce sinistre n'ait pas laissé de traces visibles sur le bâtiment, l'arrêt des travaux est attesté de manière indiscutable.

La deuxième phase de construction, qui s'est déroulée entre 1374 et 1388, s'attela aux aménagements intérieurs, tels que l'installation des planchers et des cloisons en pan-de-bois. L'abbé Helin de Meffe aurait initié ces travaux, poursuivis ensuite par Nicolas I du Jardin, qui s'est également illustré par la rénovation de l'infirmerie. (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

La structure intérieure du bâtiment, bien que transformée, reste perceptible grâce aux vestiges des planchers, des cloisons et des portes. Le rez-de-chaussée se caractérise par un tracé précis, tandis que l'étage présente un agencement similaire, avec des redistributions adaptées à la charpente et à la salle lambrissée (voir Figure 35). Un couloir transversal traverse les étages, et l'emplacement de l'escalier, dont la localisation exacte reste hypothétique, pourrait avoir été intégré à la salle lambrissée ou adossé à l'extérieur. (Bolle, Coura & Léotard, 2016).



Figure 35 : « Plan reconstitué du premier étage de l'infirmerie (au XIVème siècle) reporté sur le plan de l'édifice actuel ». Infographie : Anne Mélon © SPW. Source (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

6.1.3 Au XVI^{ème} Siècle

Au cours de la seconde moitié du XVI^{ème} siècle, la partie occidentale de l'ancienne infirmerie, actuellement au numéro 10, a fait l'objet de transformations majeures, datées par dendrochronologie entre 1551 et 1569. Ces travaux ont entraîné l'abandon de la haute salle lambrissée d'origine et sa division en deux niveaux. La salle des malades a ainsi été partagée par un nouveau plancher, et la cloison en pan-de-bois du rez-de-chaussée a été remplacée par un mur en briques, supportant un nouveau sommier. Un ensemble de fenêtres à croisées a également été intégré à la façade sud, suggérant une adaptation des espaces qui visait à offrir plus d'intimité. Cela pourrait être en réponse à l'évolution des pratiques médicales de l'époque ou à un changement d'affectation de la salle (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

Les nouvelles pièces ont été décorées de peintures murales en grisaille sur la partie supérieure des murs. Au rez-de-chaussée, un fragment d'une fresque de neuf mètres, orné sur le mur de refend en briques, présente trois scènes inspirées de la « Parabole des Noces royales » (Matthieu 22, N.T.). Ces scènes sont accompagnées d'un cartouche en latin, tiré des gravures de Maerten van Heemskerck, éditées en 1558-1559 par Hieronymus Cock. Les scènes sont encadrées par des colonnes polychromes en trompe-l'œil, créant l'illusion qu'elles soutiennent les poutres du plafond, et reproduisent les trois derniers épisodes d'une suite de gravures. Parmi ces fragments, figure un détail de la planche 6, représentant la « Puntition de l'homme sans habit de noccs » (voir page suivante Figure 36 et Figure 37) (Bolle et al., 2014^a).

Quant au mur méridional, il était à l'origine orné de trois fenêtres décorées. Aujourd'hui, seule une fenêtre est conservée, où il est encore possible de distinguer une représentation en pied de deux apôtres de Jésus, probablement Saint Paul et, peut-être, Saint-Pierre. Cela laisse supposer que l'ensemble des douze apôtres était autrefois représenté dans cette salle (voir page suivante, Figure 38) (Bolle, Coura & Léotard, 2016).



Figure 36: « Planche de la suite de la parabole des Noces royales, Dirk Volckertz d'après Maarten Van Heemskerck, éditée par Hieronymus Cock, 1558-1559 ». Encadré rouge : fragment découvert, voir figure ci-contre. Source Meisterdrucke. (n.d.). Puniton de l'homme sans habit de nocces (Parabole d'un festin de nocces MeisterDrucke Consulté le 2 février 2025, à l'adresse [https://www.meisterdrucke.fr/fine-art-prints/Dirck-Volckertz.-Coornhert/1365942/Puniton-de-l'homme-sans-habit-de-noces-\(Parabole-d'un-festin-de-noces\).html](https://www.meisterdrucke.fr/fine-art-prints/Dirck-Volckertz.-Coornhert/1365942/Puniton-de-l'homme-sans-habit-de-noces-(Parabole-d'un-festin-de-noces).html))

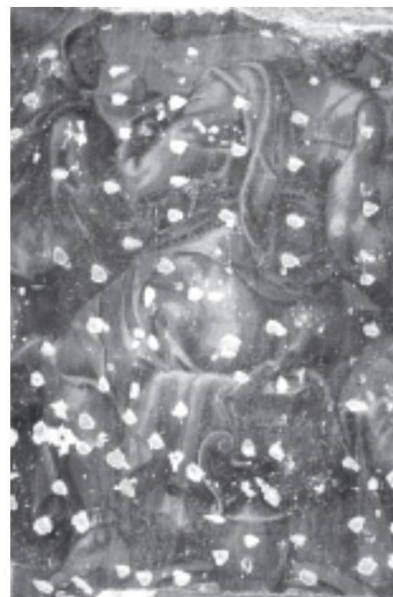


Figure 37 : « Fragment de la peinture murale en grisaille, seconde moitié du XVI^{ème} siècle (découverte au rez-de-chaussée de la maison sise au n°10 de la place Emile-Dupont ». Source (Bolle et al., 2014).

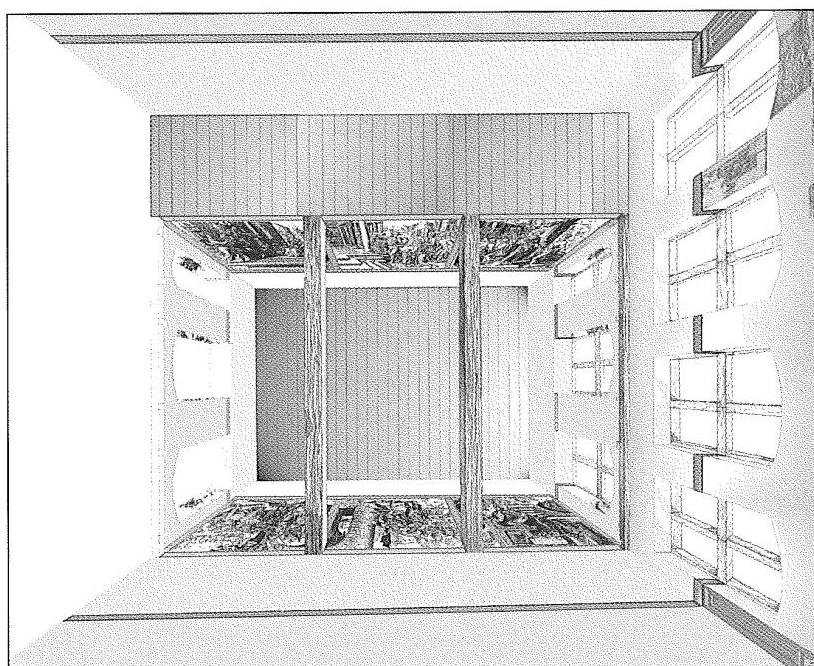


Figure 38 : « Reconstitution des décorations du XVI^{ème} siècle mise à jour au rez-de-chaussée et au premier étage du n°10 actuel ». Dessin et traitement graphique O. Gilgean, Serv. Archéologie, Dir. Liège I. (Source Bolle, Coura & Léotard, 2004).

Au premier étage, la salle est ornée de fresques similaires, avec des grisailles représentant des anges, des portraits et des armoiries (voir Figure 40). Ces éléments décoratifs, disposés en trompe-l'œil avec des colonnes, témoignent d'un style romanisant typique de la seconde moitié du XVI^{ème} siècle. Les éléments héraldiques, dont au moins un blason peu visible, permettent d'identifier l'abbé Herman II Rave, commanditaire de la rénovation ainsi que du portail de l'abbatiale (voir Figure 39) (Bolle, Coura & Léotard ; Charlier, 2016).

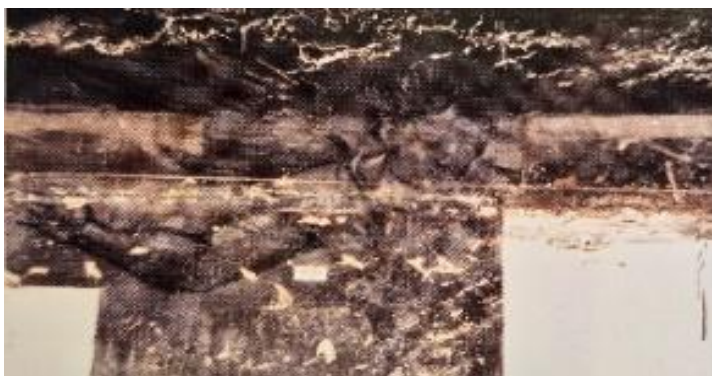


Figure 40: : Peinture murale en grisaille d'un ange. Source (Bolle, Coura et Léotard, 2016).



Figure 39 : Reconstitution du blason relevé au n°10 des Armoiries de la famille Rave. Source (Charlier, 2016).

Ces décors confèrent à l'espace une fonction ambiguë, qui pourrait être celle d'un réfectoire pour les malades ou d'une salle de réception. Elles témoignent d'une volonté d'harmoniser l'architecture et la décoration, reflétant ainsi la richesse symbolique et la valeur sociale de ces transformations. De plus, ces œuvres sont considérées comme un ensemble artistique inédit, d'une grande valeur historique et attribuées au style de l'école liégeoise, en particulier à Lambert Lombard (voir Figure 41) (Verstraelen, 2014^b).



Figure 41 : « Étude du notaire abritant les peintures murales attribuées à l'école de Lambert Lombard » Cercle rouge : fragment de la peinture murale, voir figure 37, page 56. © SPW – DG04. Source (Verstraelen, 2014^b).

6.1.4 Au XVIII^{ème} Siècle

Des travaux d'embellissement et de restructuration transforment l'abbatiale et les bâtiments conventuels de l'abbaye de Saint-Jacques, notamment par la remise en état de l'infirmerie. Dans la zone orientale de l'édifice, actuelle maison numéro 9, des modifications majeures sont apportées. L'ancien oratoire médiéval est reconstruit au-dessus du bief et est rehaussé de stucs de style Louis XV, appliqués sur l'intrados de sa baie arquée. De plus, une large ouverture trapézoïdale est percée dans le plancher au premier étage pour maintenir le lien visuel avec le sanctuaire, soutenant ainsi la continuité de sa fonction culturelle. Ces transformations sont probablement de l'abbé Pierre Renotte (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

La façade méridionale de l'édifice témoigne quant à elle des évolutions subies par le site. Lors de la sécularisation de l'abbaye en collégiale en 1785, le domaine abbatial est démantelé. Une partie des anciens bâtiments est soit démolie, soit vendue aux nouveaux chanoines, qui transforment ces espaces en maisons canoniales privées (Bolle et al. 2007). Un acte mentionnant la vente d'une infirmerie précise que l'édifice est scindé en deux maisons : la maison numéro 9 dédiée à l'infirmerie, et la maison numéro 10, réservée au logement d'un moine. (Bolle et al., 2008) Ce processus de séparation entraîne de nouvelles délimitations parcellaires (Bolle & Léotard, 2014^a).

L'aménagement des intérieurs est également modifié. Les nouvelles cloisons sont masquées sous des décorations raffinées, telles que des peintures murales, des stucs, des boiseries et des cheminées (Amormino, 2006). L'analyse architecturale de la façade sud, située à l'arrière côté jardin, révèle une recherche d'équilibre et d'harmonie, malgré la complexité de cet ensemble hybride. Un tracé régulateur des Temps Modernes conçoit la composition de la façade, allant des lignes de sol aux dimensions des fenêtres, tout en tenant compte des nouvelles limites parcellaires et de la corniche médiévale (voir page suivante, Figure 42) (Bolle & Léotard, 2014^a). Un exhaussement des niveaux de sol de plus de deux mètres a également été réalisé (voir page suivante, Figure 43) (Henrard & Van Der Sloot, 2007).

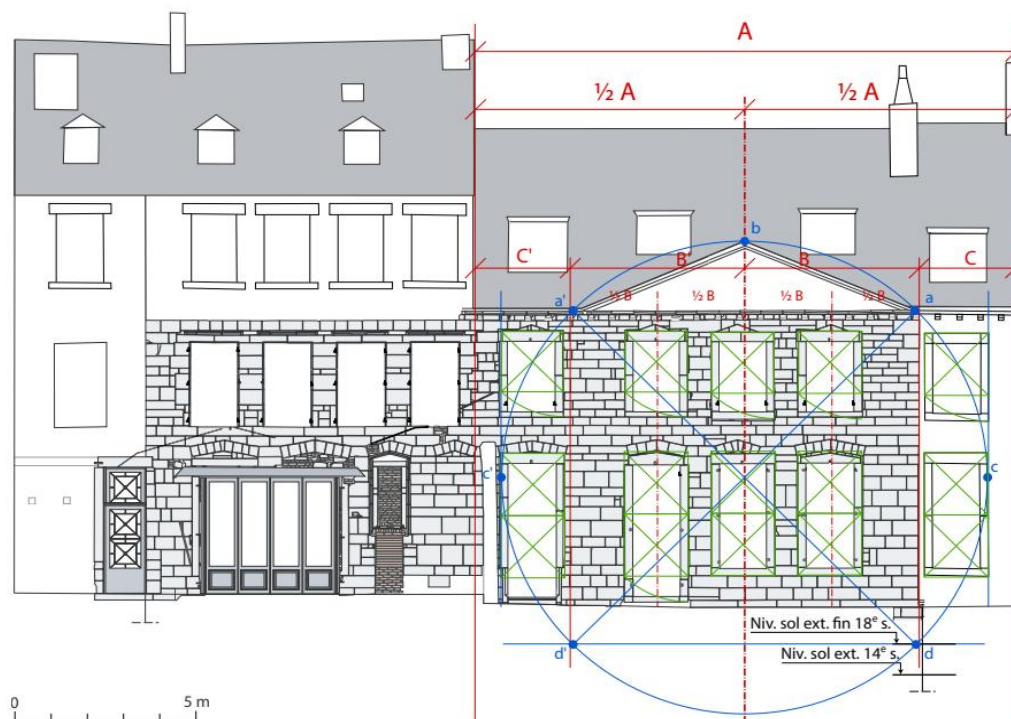


Figure 42 : « Recherche du tracé régulateur de la zone orientale de la façade sud, remaniée après la sécularisation (1785). » A. Mélon et J.-F. Lemaire, © SPW-DGO4. Source (Bolle & Léotard, 2014).

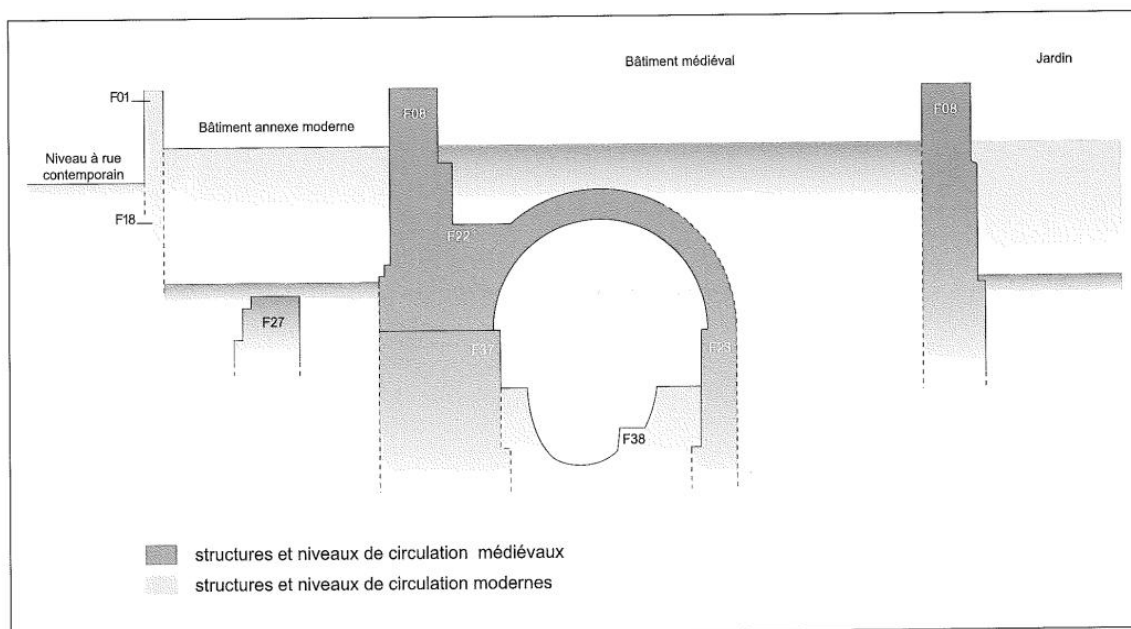


Figure 43 : « Coupe projection des niveaux de circulation à l'échelle du site ». Source (Henrard & Van Der Sloot, 2007)

6.1.5 Aux XIX^{ème} et XX^{ème} Siècles

Après la dissolution de l'abbaye en 1873, les derniers bâtiments claustraux sont détruits. L'espace laissé par le cloître est transformé en parc, bordé de voiries et d'immeubles. Dans les années 1960, une nouvelle démolition des maisons ceinturant la place Emile-Dupont au sud et sud-est est effectué, à ce moment, le n°10 lui est occupé par une famille de notaire, tandis que la maison n°9 est occupée par des bureaux au rez-de-chaussée et à l'étage, il y avait des appartements qui ont été séparés par des nouvelles cloisons (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

Au XIX^{ème} siècle, une partie de la façade primitive du numéro 10, côté rue, est alors démolie pour laisser place à la façade néo-classique actuelle (Bolle & Léotard, 2014^a). Ensuite, durant la moitié du XX^{ème} siècle, l'autre partie de la façade médiévale est également cachée par une nouvelle façade à rue (voir Figure 44) (Amormino, 2006).



Figure 44 : Façade médiévale avec « baie du XIVème siècle ajourant la façade nord primitive au premier étage » dissimulée par l'extension pour créer une salle de bain dans le bâtiment n°9. Photographie personnelle : © M. Bauvir (le 22 avril 2024).

6.1.6 Au XXI^{ème} Siècle

Le 31 août 2001, un permis d'urbanisme est accordé pour démolir les maisons situées aux numéros 9 et 10, afin d'y aménager un parking souterrain et un nouvel immeuble d'appartements. Cependant, à la suite d'une évaluation archéologique menée sur sept mois, les résultats ont conduit à une réévaluation du projet (Bolle & Léotard, 2002), sous la supervision du Service de l'Archéologie en province de Liège (SPW - DG04 - Direction Liège 1) (Bolle et al., 2014). Les fouilles, entamées dans le bâtiment numéro 9, ont consisté à retirer les enduits muraux pour mettre en lumière l'appareillage de la maçonnerie. Ces travaux ont révélé que les deux maisons ne formaient initialement qu'une seule unité avant les transformations du XIX^{ème} siècle (Sites et Monuments, 2002).

L'identification d'un potentiel archéologique majeur, lié à l'appartenance des structures à l'ancien complexe abbatial bénédictin de Saint-Jacques, dont seule l'église abbatiale subsiste aujourd'hui, a conduit à la découverte de peintures murales en grisaille datant du XVI^{ème} siècle (voir page 57, Figure 37). Ces découvertes ont incité le Ministre wallon du patrimoine, Michel Daerden, à revoir sa décision. Quelques jours avant la date prévue de démolition, il retire le permis d'urbanisme le 18 juillet 2002. Ainsi, le destin de ces maisons a été sauvé, et elles ont été protégées par un classement de la Région wallonne le 27 mars 2003. Elles ont ensuite été expropriées par un arrêté en date du 24 avril 2003 et réhabilitées par le *Centre wallon d'archéologie du bâti*, dédiées à l'apprentissage, à la formation et à la recherche sur l'archéologie des bâtiments, tout en étant ouvertes au public (Bolle et al., 2014) (Amormino, 2006).

L'ensemble de ces découvertes ont non seulement permis de mieux comprendre l'évolution de cette architecture médiévale civile en pierre, mais remet en question l'idée selon laquelle le patrimoine médiéval liégeois aurait été entièrement détruit lors du saccage systématique de la ville par Charles le Téméraire en 1468 (Duc de Bourgogne) à l'exception des églises (Bolle, Coura & Léotard, 2004). En effet, l'infirmerie des moines et d'autres édifices montrent que certaines structures ont survécu, probablement parce qu'elles étaient construites en matériaux durables et associées à des bâtiments religieux.

Depuis lors, d'autres bâtiments bien conservés ont été identifiés et étudiés, comme le *siège actuel de l'évêché*, datant de la première moitié du XV^e siècle, ou encore la maison située au numéro 58 du Mont Saint-Martin datant de 1356-1360 (voir page suivante, Figure 45) (Bolle, Coura & Léotard, 2016).



Figure 45 : À gauche : Siège actuel de l'évêché (2017) et à droite : Bâtiment au numéro 58 du Mont Saint-Martin. (2023).
Source Photos de Google Maps.

6.1.7 Evolution du bâti

À la place Emile Dupont, l'analyse des maisons numéros 9 et 10 du complexe abbatial de Saint-Jacques constitue un cas d'étude exceptionnel pour appréhender divers aspects de l'architecture médiévale et de son évolution au fil des siècles. Ce site offre une rare opportunité de comprendre comment les transformations architecturales ont façonné l'espace au Moyen Âge, mais aussi comment ces bâtiments ont été remodelés à travers les périodes de la Renaissance et de l'époque moderne, notamment au XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècles. Les découvertes archéologiques récentes, telles que les fresques murales en grisaille du XVI^{ème} siècle et les éléments architecturaux révélant l'évolution du bâti, permettent d'approfondir les connaissances de l'architecture, tout en offrant un éclairage précieux sur les pratiques de ces époques.

Actuellement, le site des maisons numéros 9 et 10 est accessible pour des événements, comme dans le cadre du cours LARKE1230 dédié à l'Archéologie du bâti (Faculté de philosophie, Arts et Lettre [FIAL], 2024) et la journée du patrimoine, ce qui rend d'autant plus intéressante l'initiative de proposer une visite virtuelle via la plateforme Observable. Cette solution numérique permet de découvrir l'évolution de l'architecture médiévale et ses transformations au fil des siècles, tout en offrant une immersion dans un patrimoine souvent difficile à explorer en raison de son emplacement et de son état de conservation. Cette approche numérique permet de rendre ce patrimoine accessible au grand public, et ce, durant les recherches toujours en cours.

Ainsi, ce cas d'étude constitue non seulement un témoignage précieux du passé, mais aussi un moyen d'informer et de sensibiliser les générations futures à la richesse et à la complexité du patrimoine architectural de Liège. Il est donc important de préserver, restaurer et conserver ce patrimoine.

6.2 Monitoring

En 2007, à la suite de certaines dégradations, des interventions de consolidations des enduits peints sont effectuées. Ces interventions, menées jusqu'en 2009 par une équipe de restaurateurs spécialisés de peintures murales, sous la direction de Marie-Hélène Ghisdal (Verstraelen, 2014^b), ont porté sur quatre types d'enduits peints datant d'époques différentes.

Tout d'abord, les peintures murales en grisaille, situées dans la partie occidentale de l'édifice, sont attribuées à l'école Lambert Lombard¹⁹ et datent du XVI^{ème} siècle. Elles ont subi des dégradations causées par des dépôts de suie provenant d'un conduit de cheminée au niveau du mur oriental. La consolidation de ces enduits a été réalisée au moyen d'injections de coulis à base de chaux (Hydroxyde de calcium), de sable et de caséinate de chaux²⁰.

Ensuite, dans la cage d'escalier ainsi que dans la chambre côté façade se trouvent des fragments de décoration en plinthe noire. Ces fragments sont associés à des grands panneaux crénelés gris bleutés monochromes conçus au XVIII^{ème} siècle. Ces décors sont en mauvais état, présentant des enduits fissurés et des peintures poudreuses. La première partie de la restauration a consisté à un dépoussiérage, puis à la fixation de la couche de peinture à l'aide de Tylose²¹ puis l'encollage du papier japon²² humidifié par un mélange d'eau et d'alcool. La seconde partie de restauration a permis de consolider les enduits par injections de coulis de chaux et de sable.

Dans le « salon bleu », douze panneaux datés de la fin du XVIII^{ème} siècle illustrent des scènes mythologiques et des motifs d'inspiration antique (voir page suivante, Figure 46). Ces panneaux souffrent d'humidité causant écaillages, craquelures et lacunes. Sur les murs nord et sud, les peintures ont été stabilisées avec un mélange PVA-Tylose²³ appliqué avec du papier japon humidifié, puis aplati. Tandis que les décors des murs est et ouest ont reçu des injections de coulis de chaux et sable.

¹⁹Selon le site du musée de Liège (<https://lesmuseesdeliege.be>) Lambert Lombard est un peintre, architecte et dessinateur de la Renaissance (Liège, 1505-1566).

²⁰Le site galtane (www.galtane.com) définit la caséine (protéine de lait) comme étant mélangée à la chaux afin d'obtenir une peinture naturelle mate et homogène.

²¹Selon les informations du site (www.apg-reliure.com) le Tylose a une très bonne résistance à la dégradation biologique et bactérienne, absence de toxicité, pH stable, pouvoir collant plus faible que la colle d'amidon, mais présente plus de souplesse et sèche moins vite.

²²Le site japico (www.japico.fr) définit le papier japon est un papier léger, résistant, conservant l'intégrité des objets restaurés.

²³Le site (www.setylose.com) renseigne le PVA-Tylose qui est un alcool polyvinylique de Tylose présentant une forte adhérence au papier.

Enfin, la pièce nommée le « théâtre » est composée d'éléments décorés de la fin du XIX^{ème} et du début du XX^{ème} siècle. Le mur oriental est entièrement occupé par une scène représentant un paysage d'inspiration romantique (voir Figure 47). Tandis que les trois autres murs de la pièce, sont ornés de panneaux beiges d'encadrement végétal stylisé, chacun mettant en valeur un grand bouquet de fleurs au centre d'un médaillon. Des fissures de soulèvements ont été stabilisées avec des injections de Ledan TB1²⁴, tandis que les grandes fissures ont été comblées avec un mortier de chaux et sable. Les portes marouflées ont, quant à elles, été consolidées à l'aide d'un adhésif acrylique (Verstraelen, 2014^b).



Figure 46: Le "Salon Bleu" programme décoratif de la fin du XVIII^{ème} siècle. Photographie C, Bolle. (source Bolle & Vanden Eynde, 2022).



Figure 47 : Le "théâtre" vu du mur de scène fin XIX^{ème} et début XX^{ème} siècle. Photographie C, Bolle. (source Bolle & Vanden Eynde, 2022).

Ainsi, l'ensemble de ces décorations picturales nécessitent des techniques particulières pour les conserver. En raison de cette fragilité et de l'obligation de les protéger via des panneaux, ces éléments ne peuvent être rendus accessibles au grand public sans compromettre leur intégrité.

²⁴ Le site kremer pigmente informe (www.kremer-pigmente.com) le Ledan TB1 comme un mortier à injection pour l'affermissement de surfaces destinées à la fresque et fixation de couches de peinture.

7 RELÈVE SLAM DU BÂTIMENT

Après avoir identifié le cas d'étude, il a été nécessaire de compléter les données manquantes issues du premier relevé réalisé par Mme A. Schreurs et M. Moray en avril 2024. Les techniques de relevé ayant considérablement évolué ces dernières années, les méthodes manuelles, telles que le relevé pierre à pierre, conservent une place essentielle, notamment en archéologie du sous-sol (Bolle et al., 2014), mais les relevés tridimensionnels offrent désormais de nouvelles perspectives de recherche.

Afin d'obtenir une représentation complète du site, le choix s'est porté sur l'outil NavVis VLX de deuxième génération. Une préparation minutieuse, à la fois en amont et sur le terrain, s'est avérée indispensable pour garantir des conditions optimales de relevé.

7.1 Préparation

Avant d'entreprendre le relevé des maisons n° 9 et 10, une phase de préparation a été menée selon deux axes complémentaires.

Le premier axe visait à compléter la maquette numérique 3D préexistante, élaborée à partir de nuages de points et de vues panoramiques, en identifiant ses lacunes. Cette démarche s'appuie sur les relevés effectués l'année précédente à l'aide du NavVis VLX de deuxième génération par Mme A. Schreurs et M. L. Moray, dans le cadre du projet URMIBALI. Ce projet dédié à l'étude des bâtiments historiques et traditionnels liégeois avait pour objectif d'analyser les gisements de matériaux ainsi que le flux de déchets issus de réhabilitation énergétique (Trachte et al., 2025).

L'analyse de la maquette, réalisée sur la plateforme NavVis IVION, a permis de compléter le jumeau numérique des maisons n°9 et 10 et de confronter plusieurs modes de visualisations : données standard, ensemble des relevés effectués, organisation spatiale du site et parcours scannés (voir Figure 48).



Figure 48 : Carte d'IVION comprenant les différents modes de vue, des maisons n°9 et 10, place Emile Dupont. Source uliege.iv.navvis.com. (2025). URMIBALI_Liege. Consulté le 4 octobre 2024, à l'adresse <https://uliege.iv.navvis.com/?image=954821739186636>

Toutefois, l'absence de référencement des pièces scannées l'année passée compliquait l'interprétation, surtout dans les bâtiments comprenant de nombreux petits espaces. Pour localiser les zones manquantes et éviter un scannage complet, des plans de travail ont été élaborés à partir de la littérature et de la maquette numérique. La création de plans d'analyse a révélé plusieurs absences : les caves, la salle « théâtre », une pièce du premier étage et le dernier niveau de la maison n°10 n'avaient pas été relevés, tandis que certaines pièces étaient dépourvues de vues panoramiques.

Le second axe consistait à recenser les contraintes potentielles et à analyser la morphologie du terrain accidenté, afin d'anticiper les difficultés susceptibles de survenir lors de la prise de mesures. Dans cette optique, une visite de repérage, organisée par Mme C. Bolle en présence de M. P. Hallot et de Mme A. Schreurs, a été effectuée avant la numérisation du site programmée le 30 janvier 2025.

Plusieurs contraintes techniques ont dû être anticipées. La circulation à l'intérieur des deux maisons présentait une configuration complexe en raison de la multiplicité des pièces séparées par de nombreuses cloisons, ainsi que de l'absence de liaison intérieure entre les deux maisons. Autrefois reliés au niveau du premier et du deuxième étage par la ferme numéro XVI, ces passages ont été murés, rendant le passage d'un édifice à l'autre obligatoire par l'extérieur. Il a donc été nécessaire de vérifier les conditions météorologiques du jour afin de protéger l'appareil de la pluie.

À l'intérieur, plusieurs problèmes ont été identifiés. Les ouvertures présentaient des hauteurs variables, certaines portes ayant été démontées et remplacées par des bâches. Les conditions d'éclairage ont également été prises en compte. Le relevé débutant à 16h, avec un coucher du soleil prévu à 17h30, un éclairage artificiel a été utilisé pour garantir une luminosité suffisante. Certaines pièces ne disposant pas ou peu de lumière, des lampes portatives ont été utilisées pour illuminer certaines zones spécifiques, telle qu'une partie de la peinture de cartouche écrite en latin qui est derrière le mur de scène de la salle « théâtre ». Par ailleurs, dans les combles et les caves, certains éclairages artificiels fixés aux murs ont été identifiés comme pouvant potentiellement affecter la qualité des relevés.

De plus, certaines pièces possèdent une double hauteur, tandis que d'autres ont un plafond très bas, comme celles situées dans les combles au quatrième étage ou dans les caves.

Avant la numérisation, il a été nécessaire de retirer le matériel confidentiel présent dans certaines pièces, même si un floutage ultérieur restait possible. Enfin, la préparation du scanner mobile a consisté à déplier l'appareil, serrer les vis, insérer les batteries chargées et la carte SSD, puis suivre les étapes de mise en route. L'installation s'est révélée relativement simple à réaliser.

7.2 Déroulement

La phase de relevé des maisons n°9 et 10 a débuté le jeudi 30 janvier 2025 vers 16 heures sous un ciel partiellement nuageux, accompagné de faibles précipitations.

Une fois le NavVis VLX de deuxième génération allumée, le logiciel du système se lance automatiquement après une phase d'initialisation (cf. partie « 5.2.2 Protocole de relevé »). Durant celle-ci, la synchronisation entre les caméras et le système d'exploitation s'effectue automatiquement en arrière-plan. Cette étape d'étalonnage est importante comme elle assure la qualité du nuage de points. L'interface utilisateur s'affiche après le démarrage de l'application.

Après la mise en place de l'appareil sur l'opérateur, nous sélectionnons l'option « New Dataset » sur le tableau de bord de l'application. Cette étape permet de créer un nouvel ensemble de données que nous avons nommé « URMIBALI 2 », en référence au premier relevé réalisé sous le nom « URMIBALI ». Nous indiquons ensuite l'étage du rez-de-chaussée au n°10, puis nous commençons la numérisation en cliquant sur « Start mapping ». Le démarrage de la cartographie du NavVis a nécessité un mouvement de rotation de 90° à gauche ou à droite suivi d'une marche. Une carte s'est alors affichée sur le tableau de bord, indiquant en temps réel la position, les zones déjà scannées (en bleu) et proposant diverses commandes : zoom, rotation, recentrage, prise de photos manuelles (voir page suivante, Figure 49). Cette interface est intuitive et bien conçue. Celle-ci permet de visualiser en temps réel l'avancement de la numérisation, les informations enregistrées ainsi que les zones de recouvrement. Elle permet également de prendre des images panoramiques à 360° et de voir leurs positionnements sur la carte. Cependant, le déclenchement automatique des images panoramiques mériterait d'être ajusté, car il est basé sur le nombre de pas de l'opérateur. Ce système s'est révélé inefficace dans les caves, en raison de l'espace restreint. Par ailleurs, il n'était pas toujours évident de prendre des photos manuellement.



Figure 49 : Présentation du tableau de bord pendant l'acquisition de données. Projet URMIBALI: Emile-Dupont, n°9 et 10 au premier étage. Photographie personnelle: M. Bauvir (le 22 avril 2024).

Le parcours du relevé a été organisé de manière progressive et méthodique afin de couvrir l'ensemble des espaces. Nous avons débuté par le couloir du bâtiment n°10, permettant de relier précisément les nouvelles données au premier relevé effectué l'année précédente. Nous avons ensuite poursuivi dans la salle contenant les peintures du XVI^{ème} siècle, puis dans la pièce appelée « théâtre ». Le parcours s'est poursuivi par le retour dans le couloir pour descendre dans la première cave, composée de plusieurs salles, avant de remonter et d'enregistrer ce premier relevé.

Le relevé suivant a débuté à nouveau dans le couloir du rez-de-chaussée pour accéder au premier étage, puis dans la pièce non relevée précédemment, avant de redescendre pour enregistrer les données.

Le troisième relevé a été réalisé à partir du couloir du deuxième étage, permettant de scanner jusqu'au quatrième étage afin de couvrir l'ensemble des combles, avant de redescendre pour enregistrer la progression.

Enfin, le dernier relevé a nécessité de quitter le bâtiment n°10 pour accéder au bâtiment n°9, désormais séparé. Pour protéger le NavVis des légères pluies, un parapluie a été utilisé. Le relevé a couvert le rez-de-chaussée et les caves avant de remonter pour l'enregistrement.

Dans les espaces en sous-sols, la hauteur sous plafond était parfois si basse qu'il n'était pas possible de porter le NavVis VLX de deuxième génération sur les épaules. Compte tenu de ses dimensions (108 × 33 × 56 cm) et de notre taille (environ 1,70 m), l'appareil aurait touché le plafond. Nous avons donc dû le porter à bout de bras, ce qui n'est pas prévu dans son usage. Cette posture, plus fatigante, a pu affecter la qualité des relevés, les scanners LiDAR et caméras pouvant avoir été partiellement obstrués par notre silhouette. Un problème similaire est apparu lors du relevé de la charpente au quatrième étage, notamment pour atteindre la ferme n°XVI. Pour éviter de porter l'appareil à bout de bras, nous avons choisi de nous mettre à genoux pour éviter tout contact avec les structures.

Le franchissement de certaines portes a également nécessité des adaptations. Plusieurs ouvertures présentaient des hauteurs variées, et certaines avaient été remplacées par des bâches assurant la séparation entre les pièces. Bien que la boîte de transport de l'outil fournisse des cale-portes en bois, aucun dispositif spécifique n'était prévu pour les bâches. Ce type d'aménagement compliquait le passage du NavVis VLX de deuxième génération et nécessitait la présence d'un second opérateur pour éviter tout heurt avec les linteaux.

Les déplacements devaient aussi tenir compte de la sensibilité de l'appareil aux mouvements. Une barre de sensibilité s'affichait lorsque la marche ou la rotation devenait trop rapide ; si elle passait au rouge, la qualité des données risquait d'être dégradée. Ce phénomène s'est notamment produit lors de la montée des escaliers du bâtiment n° 10, entre le rez-de-chaussée et le premier étage, où une poutre maintenant la structure entravait le passage. Bien que l'appareil émette une alerte sonore en cas de problème, celui-ci reste relativement imprécis. Il n'aurait pas été judicieux d'effectuer le relevé seul dans ces bâtiments, en raison des nombreux obstacles et du poids de l'appareil.

Enfin, le cheminement fermé en boucle a été appliqué, il consiste à revenir sur ses pas toutes les vingt à trente minutes afin de consolider les données enregistrées et d'obtenir un meilleur résultat. Les espaces scannés ont été regroupés en quatre ensembles de données enregistrées en environ 1h30. Nous avons toutefois combiné cette méthode à un parcours en « zigzag » des pièces pour maximiser la couverture de recouvrement.

En résumé, le relevé des maisons n°9 et 10 s'est déroulé dans des conditions complexes, nécessitant une adaptation constante aux contraintes de l'environnement et aux spécificités du NavVis VLX 2. La configuration intérieure, avec ses multiples pièces, cloisons, hauteurs variables et passages étroits, a exigé une vigilance permanente et une coordination à deux opérateurs pour assurer la sécurité et la qualité des mesures. En veillant à des déplacements lents et réguliers. Malgré les obstacles rencontrés, cette méthodologie a permis d'acquérir des jeux de données complets et exploitables, tout en soulignant les limites de l'outil dans les espaces restreints.

8 GESTION DES DONNÉES DU SITE

Une fois les relevés terminés, l'ensemble des données collectées doit être stocké et traité sur la plateforme NavVis IVION. Cette dernière permet le traitement des données SLAM et l'intégration de points d'intérêt. La qualité des données sera ensuite analysée.

8.1 Traitement des données

Le traitement des données recueillies sur site se déroule en plusieurs étapes : le chargement des données, l'alignement des ensembles de données, la création d'un modèle de site, et enfin le nettoyage du nuage de points.

8.1.1 Chargement des données sur IVION

La création d'un site dans la plateforme NavVis IVION avait été effectuée l'année passée dans le cadre du projet URMIBALI, afin d'intégrer le nom du projet et les coordonnées de sa localisation. Dans ce site, les données brutes relevées sont intégrées en les téléchargeant sur la plateforme pour effectuer ensuite leur traitement.

Pour effectuer toutes ces tâches, il est nécessaire de posséder un compte sur la plateforme NavVis IVION. Il suffit de se rendre dans la section « Traitement des données », puis de cliquer sur « Télécharger les données » ou de glisser-déposer le fichier à analyser. Ce fichier contient toutes les informations issues du relevé. Une fois le téléchargement lancé vers le Cloud, une barre de progression indique l'avancement de chaque tâche et informe l'utilisateur lorsque les fichiers sont complètement téléchargés. Pour les quatre ensembles de données collectées, cette opération a duré environ 1h30 (voir Figure 50).

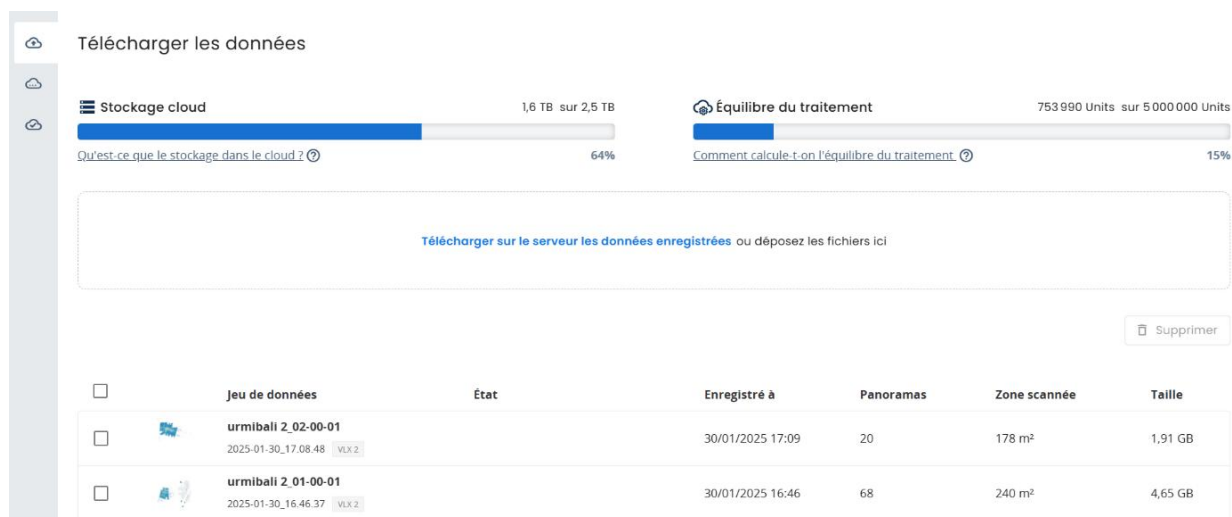


Figure 50: Téléchargement des quatre ensembles de données du relevé effectué par A. Schreurs et M. Bauvir le 30 janvier 2025 sur la plateforme NavVis IVION.

Ensuite, pour lancer le traitement des données, il est nécessaire de créer une nouvelle tâche de traitement en cliquant sur « Créer une nouvelle tâche de traitement ». Le nom proposé par défaut n'a pas été modifié et la case « tâche 2025-02 » a été cochée. La section de temps à traiter n'a pas été recadrée, afin de conserver l'intégralité des données scannées (voir Figure 51).

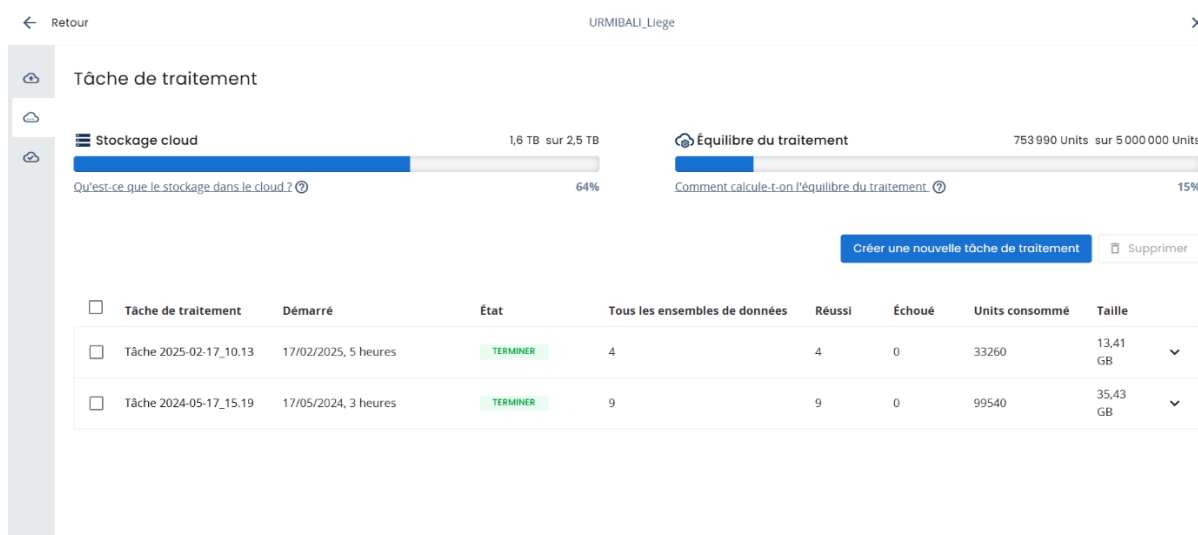


Figure 51: Tâche de traitement reprenant les deux relevés A. Schreurs et L. Moray de 2024 et A. Schreurs et M. Bauvir de 2025 sur la plateforme NavVis IVION.

La résolution du nuage de points a été fixée, comme lors du premier relevé, à 5 m ; il n'est d'ailleurs pas possible de descendre en dessous de cette valeur. Une résolution plus basse permet d'obtenir des données de meilleure qualité, mais prolonge le temps de traitement. Dans notre cas, le traitement des quatre ensembles de données a pris entre 8 et 9 heures.

La précision des données relevées pourrait être améliorée avec l'intégration d'un fichier de points de contrôle, mais aucun relevé de cibles n'a été effectué sur notre site. Le nuage de points a été colorisé à partir des images panoramiques, l'environnement ayant été défini en mode standard. Pour ces panoramas, le sol a été « rempli » afin de coloriser les angles morts laissés par l'appareil. De plus, le paramètre de la fonction e57 a été activé, permettant l'export en un nuage de points avec panoramas (voir page suivante, Figure 52).

Une fois la tâche de traitement lancée, elle est répertoriée dans la page « Tâches de traitement », qui affiche l'état et la progression de chacun des quatre ensembles. L'opération s'est déroulée avec succès et occupe 13,41 GB sur le Cloud de la plateforme, dont la capacité totale est de 2,5 TB. Le compte dispose d'un nombre déterminé de crédits pour le stockage de ces données (voir page suivante, Figure 53).

Figure 52: La configuration des paramètres. Source NavVis Knowledge Base (2025). Création d'une tâche de traitement. Consulté le 10 février 2025, à l'adresse <https://knowledge.navvis.com/docs/processing-tasks-1>

Figure 53: les quatre ensembles de données traitées sur le Cloud de la plateforme NavVis IVION du relevé A. Schreurs et M. Bauvir de 2025.

8.1.2 Alignement des ensembles de données

L'alignement des ensembles de données est une étape indispensable pour regrouper les quatre jeux de données du second relevé avec ceux du projet URMIBALI. L'alignement initial, effectué l'année précédente, a conduit au verrouillage du nuage de données du projet URMIBALI, afin d'éviter toute modification involontaire.

En l'absence de points de contrôle relevés sur site avec une station totale, l'alignement a dû être réalisé manuellement. Cette méthode, plus longue que l'alignement automatique, impose de s'assurer que les jeux de données d'un nouveau relevé soient positionnés correctement par rapport aux jeux de données de l'ancien relevé.

L'interface d'alignement, accessible depuis la configuration du site, propose plusieurs vues ; plan de dessus, vues latérales (nord-sud et est-ouest) et caméra en perspective. Ces différents points de vue permettent de visualiser une ou plusieurs séries de données, classées par catégories distinctes. En affichant seulement un ensemble de jeu de données du nuage de points, il est plus facile de les aligner entre elles, en les déplaçant et en les orientant à l'aide de l'outil « transformer » (voir Figure 54).

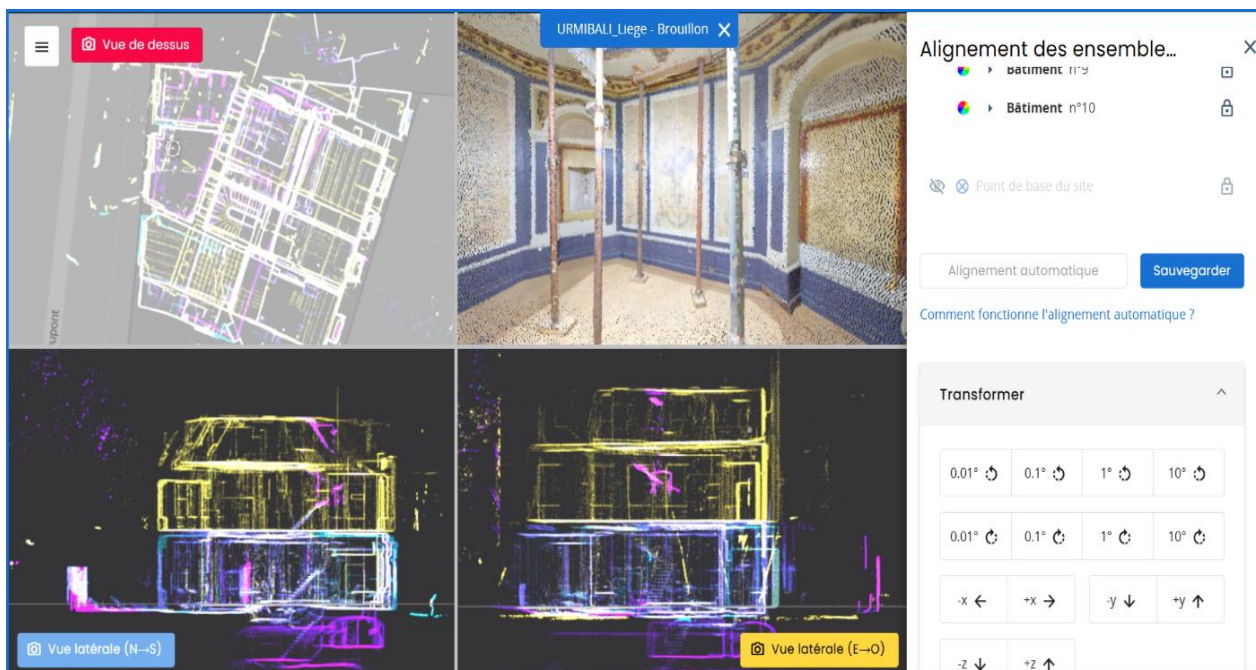


Figure 54 : Alignement des ensembles de données sur la plateforme NavVis IVION. ©M. Bauvir

Les calques de données du projet URMIBALI ont servi de référence pour positionner les quatre nouveaux jeux de données.

Le premier jeu comprenant les pièces du rez-de-chaussée et les caves du n°10, il a été superposé aux données du couloir du rez-de-chaussée du même bâtiment.

Le deuxième jeu incluant le rez-de-chaussée, la partie du premier et du deuxième étage, a été aligné sur cette même base du couloir du rez-de-chaussée du n°10.

Le troisième jeu regroupant les combles, une partie du troisième étage et le dernier niveau du n°10 a été positionné par rapport à un autre jeu de données du troisième étage.

Enfin, le quatrième jeu composé des caves et de la partie du rez-de-chaussée du n°9 a été aligné sur le salon bleu du rez-de-chaussée issu d'un jeu de données existant.

Afin de vérifier l'alignement des jeux de données, il est nécessaire que l'erreur moyenne soit inférieure à 40 mm avant de procéder à la sauvegarde des données. Cette étape d'alignement manuel exige une grande précision ; dans notre cas, l'erreur maximale relevée a été de 30 mm.

8.1.3 Création d'un modèle de site

La création du modèle du site avait été en grande partie réalisée l'année précédente. Ce modèle permet d'identifier le nombre de bâtiments, leur périmètre, leur désignation ainsi que le nombre d'étages de chaque construction. Pour y accéder, il convient de se rendre dans la configuration du site, puis dans le modèle correspondant. Les dimensions des bâtiments et le découpage des étages avaient déjà été définis l'an dernier. Pour compléter le modèle, il reste à ajouter le sous-sol dans le bâtiment n°9, ainsi que le quatrième étage et le sous-sol dans le bâtiment n°10 (voir Figure 55).

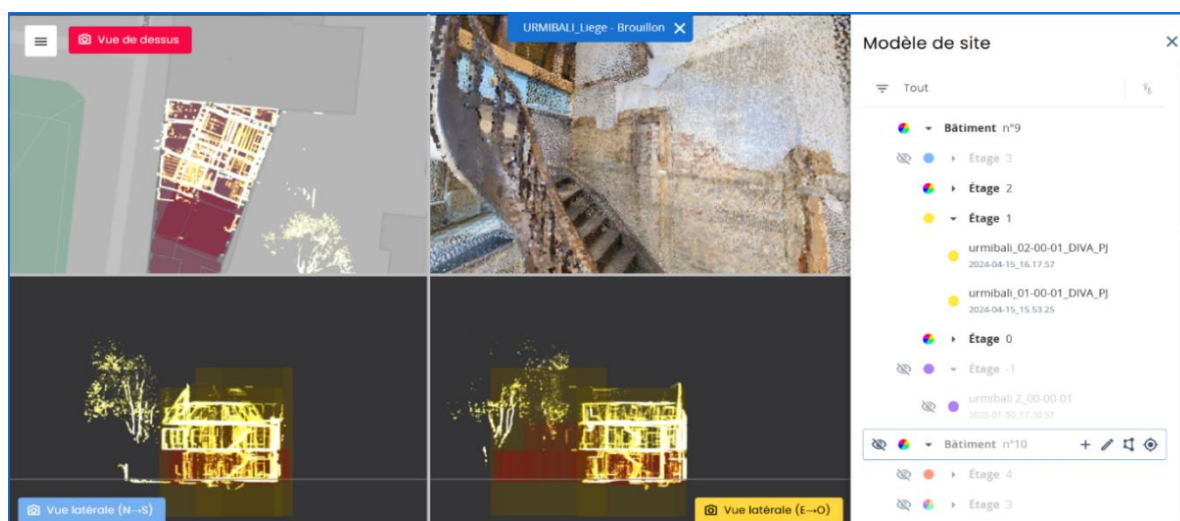


Figure 55 : Création d'un modèle de site des maisons sises n° 9 et 10 sur la plateforme NavVis IVION. ©M. Bauvir

Il est ensuite possible d'ajouter et de définir les pièces des différents étages sur les plans en traçant leur périmètre et en leur attribuant un nom. Toutefois, certaines zones, comme la salle lambrissée ou les salles contenant les peintures du XVI^{ème} siècle ne correspondent pas aux pièces actuelles. Il aurait été pertinent que la plateforme NavVis IVION propose un mode permettant de visualiser à la fois les configurations historiques et actuelles des espaces. Cette limitation concernant la reconstitution de l'évolution temporelle avait déjà été soulignée lors des enquêtes menées sur l'Observatoire de Cointe (Jouan & Hallot, 2023). De plus, pour délimiter ces pièces, il n'est pas toujours évident comme un jeu de donnée se retrouve sur un ou plusieurs étages.

8.1.4 Nettoyage du nuage de points

Une nouvelle fonctionnalité a été ajoutée dans la plateforme NavVis IVION pour le nettoyage des nuages de points, accessible via la configuration du site, dans la section « Nettoyage de nuage de points ». Des fonctions de visualisation permettent également de s'orienter et de naviguer au sein du nuage. Dans cette maquette, le nuage de points présente peu de bruit à l'intérieur des pièces, mais celui-ci est plus important au niveau des fenêtres extérieures. Nous avons tenté de le réduire partiellement à l'extérieur en utilisant la fonction « ajouter à la sélection ». Toutefois, le nettoyage des nuages de points reste une opération complexe et délicate (voir Figure 56).

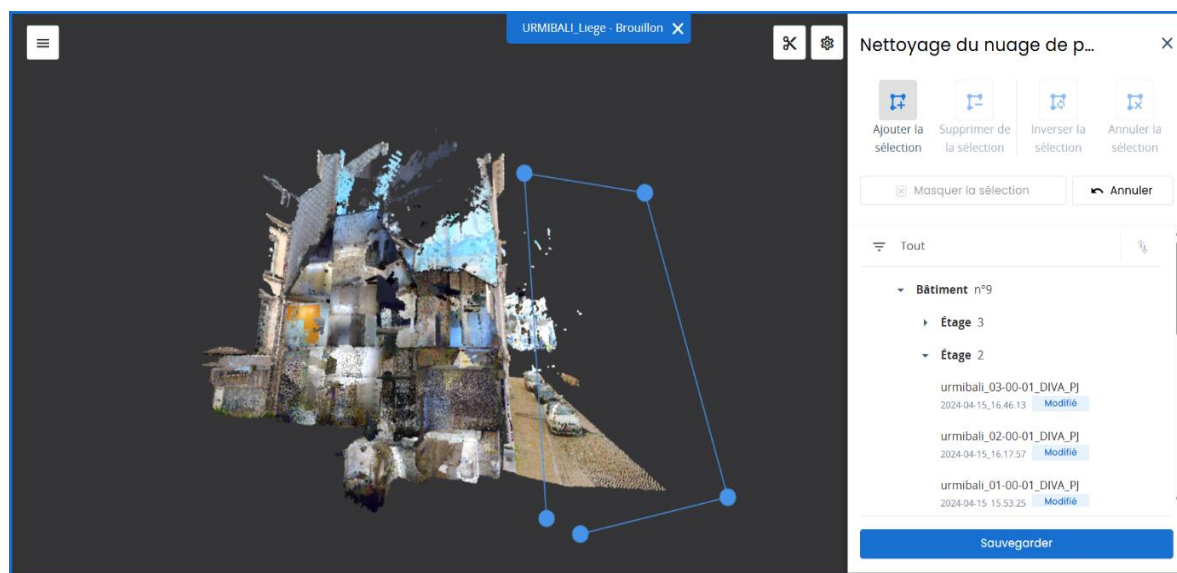


Figure 56 : Nettoyages du nuage de points sur la plateforme NavVis IVION. ©M. Bauvir

8.2 Points d'intérêts

Pour annoter la maquette numérique sur NavVis IVION et communiquer des informations sur les bâtiments, les concepteurs ont intégré la fonction « points d'intérêt » (POI). Cette fonctionnalité comprend déjà des groupes de catégories par défaut, qui peuvent être supprimés, modifiés ou complétés par un administrateur. Ainsi, il est possible d'ajouter des groupes de catégories spécifiques aux peintures, façades, charpentes, caves ou informations générales, en cliquant sur « plus : ajouter une catégorie ».

Par exemple, les peintures sont classées en quatre catégories, chacune représentée par une icône de 256 × 256 pixels, soit la dimension maximale autorisée. Les icônes ont été téléchargées sur le site web Flaticon au format 512 × 512 pixels, puis redimensionnées dans Affinity. Ensuite, pour placer un POI, il suffit de cliquer avec le bouton droit sur la zone souhaitée, puis d'indiquer sa catégorie, son nom et éventuellement une description (voir page suivante, Figure 57).

La mise en place des POI est simple et intuitive. Initialement conçue pour transmettre des informations techniques sur le site, cette fonction permet désormais d'enrichir la maquette avec des catégories personnalisées et des icônes, rendant la navigation plus interactive et la visite plus ludique pour l'utilisateur (voir page suivante, Figure 58).

Cependant, ces POI se limitent à la transmission d'informations sur la maquette. Pour permettre aux visiteurs d'annoter eux-mêmes la maquette et d'exprimer leur ressenti sur les lieux, il serait nécessaire de créer un compte utilisateur, à l'instar de Jouan et Hallot pour l'Observatoire de Cointe (Jouan & Hallot, 2023).



Figure 57 : Création d'un point d'intérêt sur la plateforme NavVis IVION. ©M. Bauvir

Créer un point d'intérêt

Basique **Avancé**

Langue

☒ FR Ajouter une langue

Nom
Panneaux peints ornés de scènes mythologiques et de motifs antiques.

Catégorie
Salon Bleu de la fin du XVIIIème siècle

Afficher la configuration

☒ Utiliser la vue actuelle
☐ Utiliser l'image panoramique la plus rapprochée

Afficher Modifier

Éditeur

B I U A Taille - +

Retour

- ☒ Elevator
- ☒ L'entraineur ait
- ☒ Stairs
- ☒ Ajouter une catégorie
- ☒ Information sur les points...
- ☒ Peintures en grisaille du...
- ☒ Peintures en plâtre non...
- ☒ Salle Théâtre fin du XIX...
- ☒ Salon Bleu de la fin du X...
- ☒ Ajouter une catégorie
- ☒ Informations sur la charp...
- ☒ Informations sur les cave...
- ☒ Importation/exportation de...

Modifier le groupe de catégories

Langue
☒ FR Ajouter une langue

Nom
Information sur les peintures

Afficher Modifier

ID de la catégorie
615

Modifier la catégorie

Langue
☒ FR Ajouter une langue

Nom
Salon Bleu de la fin du XVIIIème siècle

Icône
Téléchargez ou déposez une image ici
Tailles prises en charge : 32x32, 64x64, 128x128 et 256x256 pixels.

Groupe de catégories
Information sur les maisons sites

Visible du zoom ☐

Figure 58 : À gauche : Ajout et modification de groupe de catégories sur la plateforme NavVis IVION. À droite : Ajout ou modification de catégories. ©M. Bauvir.

8.3 Analyse de la qualité des données

Dans cette section, nous analysons la qualité des données des vues panoramiques à 360° et du nuage de points obtenus avec le NavVis VLX de deuxième génération.

Le premier constat examine les peintures, en effet, certaines sont moins visibles que d'autres. En comparant les peintures en grisaille du XVI^{ème} siècle, celles du salon bleu du XVIII^{ème} et celles de la salle «Théâtre» datant de la fin du XIX^{ème}, début du XX^{ème} siècle, plusieurs différences apparaissent. Lors du relevé, nous avons pourtant tenté de nous approcher au plus près des œuvres afin d'essayer d'obtenir une meilleure qualité des données.

Sur la maquette de la plateforme NavVis IVION, les détails des peintures en grisaille sont difficilement perceptibles, que ce soit dans le nuage de points ou en mode photo. À titre de comparaison, une photographie prise par Focant montre clairement la silhouette de deux personnages. En revanche, sur la capture d'image de la plateforme IVION, ces silhouettes sont beaucoup moins visibles et quasiment inexistantes dans le nuage de points, seul l'arrière d'un des personnages se distingue légèrement (voir Figure 59). Les autres peintures murales en grisaille sont encore moins perceptibles, notamment l'ange situé dans l'angle supérieur du rez-de-chaussée ou les peintures à l'étage supérieur.



Figure 59 : À gauche, photographie de Focant (SPW- DG04) ; au milieu, capture d'écran en vue panoramique de la plateforme NavVis IVION provenant du relevé de A. Schreurs et M. Bauvir de 2025, effectué avec le NavVis VLX de deuxième génération ; à droite, visualisation du même relevé en mode nuage de points.

Cependant, certains mots inscrits en bleu sur la cartouche gris, rédigés en latin, restent lisibles sur les vues panoramiques (voir Figure 60). Cela pourrait s'expliquer par la position des caméras et du scanner LiDAR, probablement plus proche des cartouches que des fragments des peintures. En revanche, ils sont illisibles dans le nuage de points.

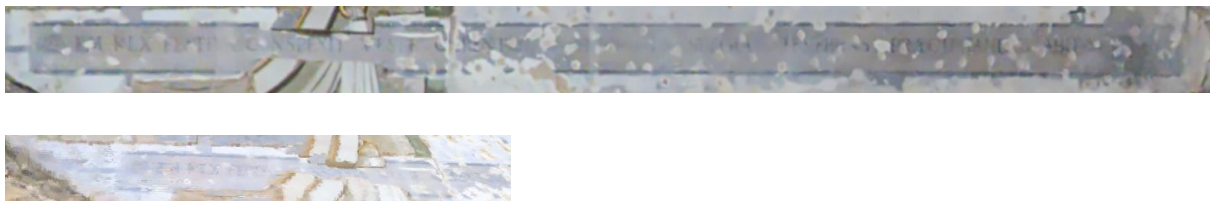


Figure 60 : Capture d'écran des cartouches sur la plateforme d'IVION issus du relevé NavVis VLX2 effectué par A. Schreurs et M. Bauvir de 2025; en haut visualisation en mode panoramique : en bas en mode nuage de points.

Concernant les peintures du salon bleu et de la salle de « théâtre », les couleurs apparaissent plus vives et mieux contrastées, les surfaces peintes sont également plus étendues, ce qui facilite la perception des détails, aussi bien en vue panoramique que dans le nuage de points (voir Figure 61).

Il apparaît que la précision du NavVis dans la restitution des peintures dépend à la fois des couleurs des objets et de leur positionnement dans l'espace par rapport aux capteurs de l'outil. Pour améliorer le relevé des pièces, surtout au niveau des peintures en grisaille, il aurait peut-être été intéressant de combiner la technique de la photogrammétrie au relevé.

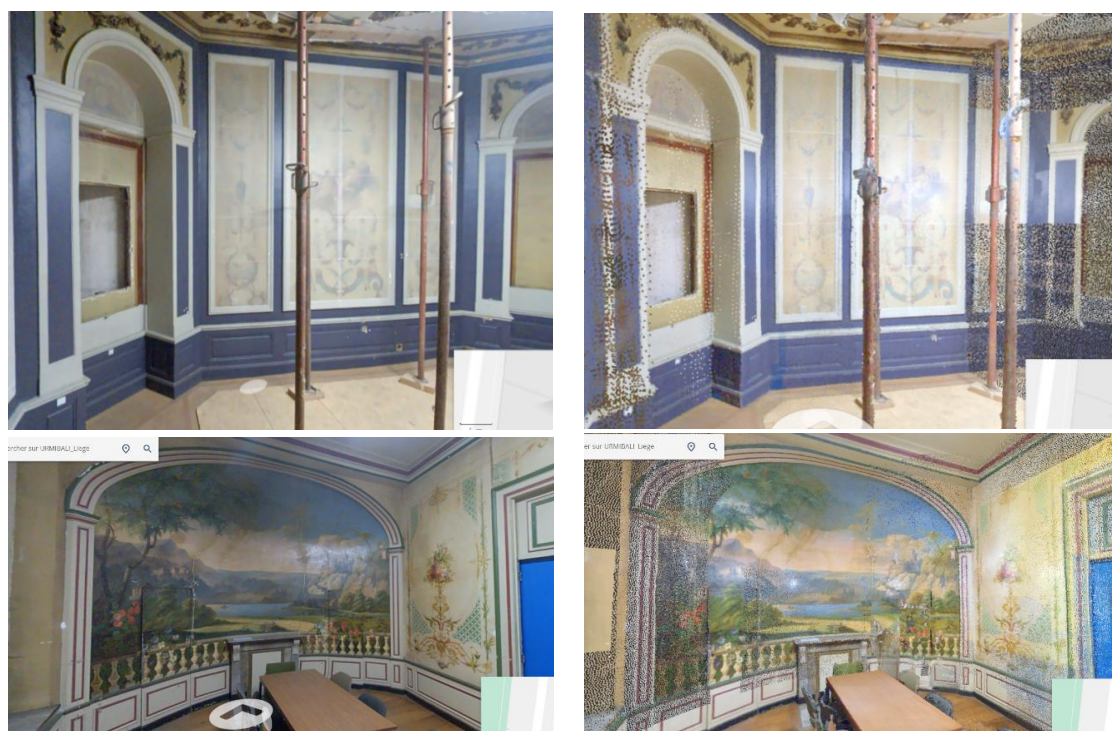


Figure 61: Capture d'écran du « salon bleu » (en haut) et de la salle « Théâtre » (en bas) relever par A. Schreurs et M. Bauvir de 2025 sur la plateforme IVION, issues du relevé NavVis VLX de deuxième génération ; à gauche, visualisation en mode panoramique ; à droite, en mode nuage de points.

Le deuxième constat concerne les fichiers exportés en nuage de points sur logiciel PointCab, portant sur la façade septentrionale médiévale, dans la première pièce située à l'est de la maison numéro 9. Cette pièce présente une grande hauteur sous plafond et un éclairage insuffisant. Le NavVis VLX de deuxième génération semble rencontrer davantage de difficultés à capturer les matériaux situés plus en haut et en bas de la pièce (voir Figure 62).



Figure 62: Vue de la façade septentrionale exportée de la plateforme NavVis IVION du relevé de A. Schreurs, L. Moray de 2024 et A. Schreurs et M. Bauvir de 2025 puis générée sur PointCab ©M. Bauvir.

De même, le relevé des façades, côté rue et côté jardin, est moins complet dans les étages supérieurs et sur les toitures, en raison du manque de recouvrement. En effet, le NavVis VLX2 ne peut capturer des données que jusqu'à une certaine portée (voir Figure 63).



Figure 63: Fichier exporté de la plateforme NavVis IVION du relevé de A. Schreurs et L. Moray de 2024 généré sur PointCab. À gauche, vue des façades côté rue ; à droite, vue des façades côté jardin. ©M. Bauvir

Le troisième constat touche à l'éclairage, qui joue un rôle sur la qualité des données capturées. Ce manque de lumière se remarque notamment dans certaines pièces, comme dans les combles du bâtiment numéro 10.

Enfin, le dernier constat concerne la hauteur d'utilisation du NavVis VLX de deuxième génération. Son emploi devient plus difficile dans les espaces à faible hauteur sous plafond. Dans les combles du bâtiment n°10, il a ainsi été nécessaire de se mettre à genoux pour effectuer une partie du relevé. Cette adaptation n'a pas significativement impacté la qualité des données.

En revanche, lors du relevé des caves, il a été nécessaire de tenir l'appareil à bout de bras, ce qui a empêché une caméra et une partie du capteur LiDAR de collecter certaines données. Sur les vues panoramiques à 360°, la personne effectuant le relevé apparaît légèrement floutée dans les vues panoramiques à 360°. Cette situation n'a toutefois que peu d'effet sur le nuage de points, les capteurs LiDAR ayant pu enregistrer les informations, bien qu'une présence résiduelle soit perceptible (voir Figure 64).

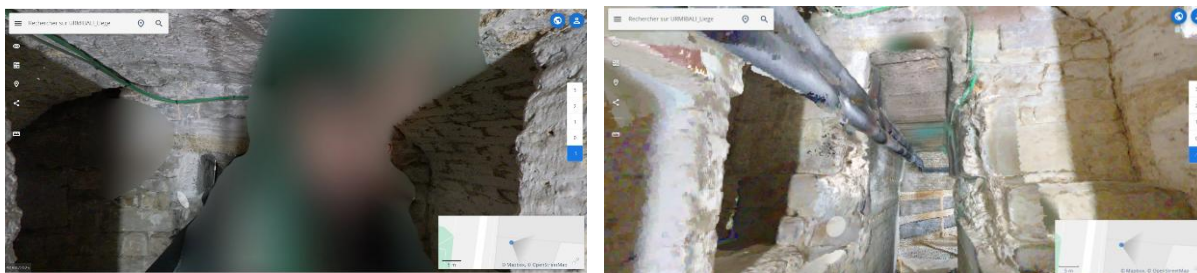


Figure 64 : Vue d'une pièce de la cave relevée par A. Schreurs et M. Bauvir en 2025 sur la plateforme NavVis IVION ; à gauche visualisation en mode panoramique ; à droite en mode nuage de points.

L'ensemble du processus de traitement des données, depuis leur chargement et leur alignement jusqu'à la création du modèle de site et à l'ajout de points d'intérêt, a permis de constituer une maquette numérique complète sur la plateforme NavVis IVION de l'infirmierie de l'abbaye de Saint-Jacques. Cependant, l'analyse critique a mis en évidence certaines limites techniques liées à la précision du relevé, comme la qualité des peintures en grisaille, les difficultés dans les zones peu éclairées. Ainsi, la maquette, une fois conçue, servira d'élément pour la création de documents et pour la plateforme web. Un scénario et un storyboard seront développés pour structurer un récit qui servira de fil conducteur pour la création des documents en question, nécessaires pour la plateforme web.

9 RÉALISATION DU SCÉNARIO ET DU STORYBOARD

Après plusieurs mois de recherches, de relevés et de traitement des données sur le cas d'étude, ainsi que le choix du type de plateforme web, la création du storyboard a été réalisée pour structurer le futur site internet. Il se retrouve en annexe 1. L'objectif était d'organiser les idées et de visualiser les éléments à communiquer, à partir de croquis et de textes conçus sur GoodNotes et Procreate.

Dans un premier temps, il a fallu déterminer l'ordre de présentation des informations. Plutôt que de suivre un ordre chronologique des événements, le scénario a été structuré en différents thèmes, regroupés dans une table des matières. Ce choix permet de centraliser les informations relatives à un même élément et de diriger le visiteur vers le chapitre qui l'intéresse. La chronologie n'a pas été retenue également en raison de l'absence de datation précise pour une grande partie des archives, dont certaines sont disparues, et que des recherches sont encore en cours.

Quatre chapitres ont été identifiés pour le site : « Un trésor caché », « Les découvertes sur les maisons sises n°9 et 10 », « La visite virtuelle » et « La bibliographie ». Une fois les informations rédigées, elles ont été retranscrites sur GoodNotes et illustrées sur Procreate pour concevoir le storyboard.

Le premier chapitre, intitulé « Un trésor caché », situe le contexte de l'ancienne infirmerie des moines. Il est divisé en deux sous-chapitres : « Une trace oubliée resurgit à la place Emile-Dupont » et « Jalon historique » :

Le premier sous-chapitre intègre une carte interactive permettant de localiser précisément le patrimoine bâti, ainsi qu'une maquette annotée du contexte de la place Emile-Dupont. Ces outils visuels facilitent la compréhension spatiale des bâtiments et présentent les enjeux liés au permis d'urbanisme pour démolition, aux fouilles, à la procédure de classement, à l'expropriation et au projet du CWAB.

Le second sous-chapitre fournit le contexte historique du vestige médiéval et des bâtiments claustraux, illustré par la maquette de Ruhl (1730) du contexte liégeois. Deux planches de bande dessinée expliquent pourquoi le patrimoine médiéval est resté longtemps méconnu, avec des illustrations mettant en scène Charles le Téméraire et la demande de sécularisation des moines. Ce sous-chapitre se clôt par une carte interactive des nouvelles limites cadastrales de 1827, permettant de visualiser les différents lots, bâtiments claustraux et l'emprise du complexe abbatial.

Le deuxième chapitre, « Les découvertes sur les maisons sises n°9 et 10 », se compose de trois sous-chapitres : « Les structures antérieures au XIV^{ème} siècle », « L'édifice du XIV^e siècle » et « Les peintures ».

Le sous-chapitre « Les structures antérieures au XIV^e siècle » est consacré au bief. Un plan du sous-sol et une coupe interactive montrent son utilisation et son évolution à travers les siècles.

Le sous-chapitre « L'édifice du XIV^{ème} siècle » aborde deux thèmes : « l'enveloppe » et « la charpente à typologie mixte ». La première partie est divisée en trois segments correspondant aux façades médiévales encore existantes, illustrés par des plans, élévations et croquis interactifs. Cette section permet de présenter la morphologie du bâtiment, l'unité de mesure, la composition des pièces, leur évolution et leur restitution. La deuxième partie, dédiée à la charpente mixte et aux pans de bois, détaille les deux phases de construction et leur assemblage, à partir des marquages. Des illustrations de charpentiers et des croquis narratifs permettent d'expliquer les anecdotes liées à la conception, accompagnées de plans et coupes montrant les différentes étapes et les marques de montage, ainsi qu'une explication sur la salle lambrissée.

Le sous-chapitre « Les peintures » est divisé en quatre thèmes : « Les peintures murales en grisaille du XVI^{ème} siècle », « Le Salon Bleu du XVIII^{ème} siècle », « Les peintures en plinthes noires du XVIII^{ème} siècle » et « Le théâtre à la fin du XIX^{ème} – début XX^{ème} siècle ». Le premier thème met en avant les découvertes exceptionnelles ayant préservé les bâtiments de la démolition et donné des explications sur la pièce du XVI^{ème} siècle en montrant les triptyques auparavant. Les thèmes suivants présentent les peintures et les méthodes de consolidation des enduits. Les pièces sont répertoriées sur une carte interactive et accompagnées d'une maquette pour chaque espace.

Le troisième chapitre permet de visualiser la maquette numérique sur NavVis IVION et d'expliquer la collecte des données. Le dernier chapitre reprend la bibliographie.

Après la réalisation du scénario, une première ébauche du storyboard a été dessinée permettant de rassembler les idées brutes. Une seconde version a ensuite servi à réécrire et réorganiser certains titres et à structurer les idées plus clairement. En revanche, des modifications seront faites dans la plateforme Observable concernant les documents. Les interactions graphiques seront réadaptées sur le site pour optimiser la communication. Par exemple, le texte apparaîtra dans des zones à cacher et la zone correspondante sera mise en couleur sur le document. Par ailleurs, la charpente lambrissée sera désormais uniquement illustrée dans la coupe, avec le vocabulaire associé aux deux phases de construction.

10 CRÉATION DE DOCUMENTS

10.1 Documents 2D

La création de documents 2D s'est organisée en trois parties distinctes. La première a consisté à réaliser les documents graphiques des maisons numérotées 9 et 10. La seconde à concevoir les planches de bande dessinée, et la troisième a porté sur les rendus et superpositions des différents documents 2D.

10.1.1 Documents graphiques

Pour la première partie de création de documents, nous avons élaboré des documents graphiques à partir du relevé NavVis. Le processus a été divisé en deux phases.

La première phase a consisté à exporter la maquette IVION au format e57, puis à l'importer dans le logiciel PointCab. Cette opération a été réalisée par Madame A. Schreurs. L'ensemble de ces opérations a nécessité moins d'une demi-journée. Dans PointCab, il est possible de créer des illustrations en deux dimensions, exportables aux formats DWG et PNG. Les étapes pour réaliser ces illustrations sont assez simples à mettre en place, à condition de bien comprendre l'interface du logiciel. Celui-ci permet de définir une ligne de coupe délimitant la section à visualiser et d'ajuster l'épaisseur de tranche pour afficher, ou non, le contexte en arrière-fond du nuage de points.

Cependant, l'obtention d'une coupe précise peut s'avérer compliquée, notamment dans certaines zones spécifiques, comme les peintures du XVI^{ème} siècle, dont une partie du triptyque se prolonge dans la salle « théâtre ». Dans ce cas, la coupe ne montre pas la partie de la cartouche du XVI^{ème} siècle, mais uniquement la surface du mur des peintures du XIX^{ème} - XX^{ème} siècles. Cette difficulté peut s'expliquer par la taille de la pièce et la nécessité de trouver un alignement précis de la ligne de coupe. Pour cette raison, ce document ne sera pas repris pour la plateforme web.

De manière générale, la réalisation des plans et des élévations est plus facile que celle des coupes, qui exigent un réglage précis de l'épaisseur. Grâce à ce logiciel, tous les plans d'étages et de façades, ainsi que trois coupes, ont été générés en plusieurs heures (voir page suivante, Figure 65).

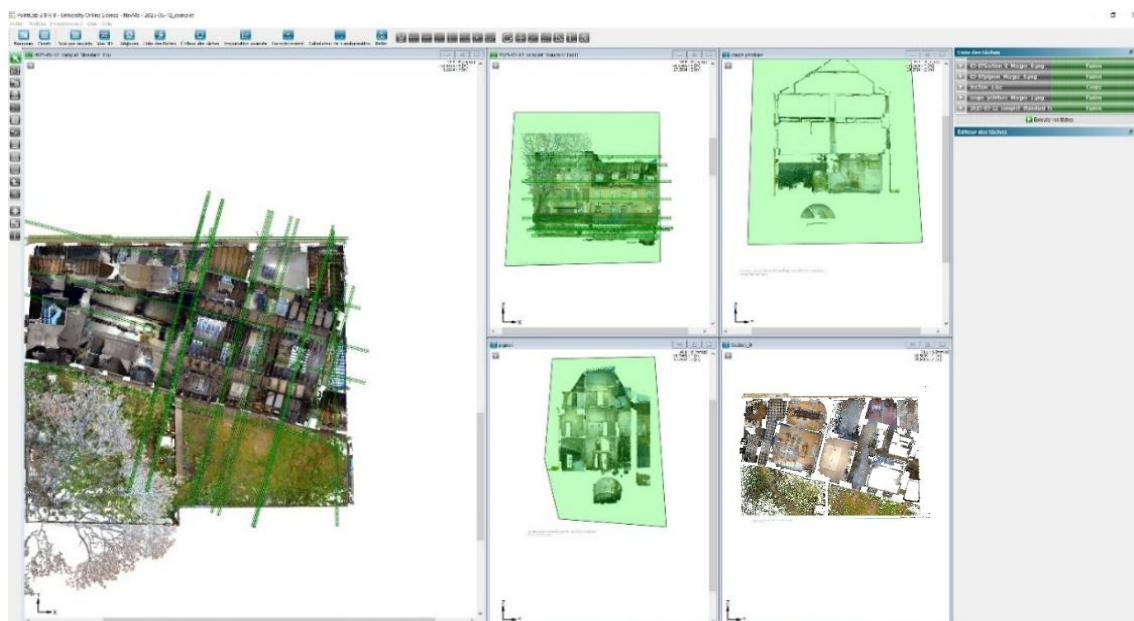


Figure 65: Création de documents 2D dans la plateforme PointCab sur base du fichier de la plateforme NavVis IVION exporté en format e57. ©M. Bauvir

La seconde phase a consisté à exporter les fichiers depuis PointCab, puis à les ouvrir au format DWG dans AutoCAD. Ce format intègre le document graphique en format PNG à l'échelle, ce qui permet de le redessiner avec plus de précision. La conception de ces documents demande toutefois un temps conséquent.

Nous avons pu nous appuyer sur les documents réalisés l'année précédente par O. Noël dans le cadre de son mémoire. Ces derniers ont été retravaillés et complétés à partir des données récoltées sur site et de sources issues de la littérature. Ils comprennent notamment le plan du rez-de-chaussée, du premier étage, du troisième étage, ainsi qu'une coupe du pignon oriental intérieur et une coupe vers l'est, au niveau de la ferme n°XVI.

D'autres documents ont été entièrement dessinés, dont l'élévation de la façade nord médiévale, les deux façades sur rue, le plan du sous-sol et le plan cadastral. L'ensemble de ces documents, combiné à d'autres, déjà existants, permet d'appréhender le site dans sa globalité avec l'organisation spatiale, l'évolution structurelle, la localisation et la composition des pièces. Les coupes et élévations offrent quant à elles une vision d'ensemble sur plusieurs niveaux, mettant en évidence les éléments médiévaux et contemporains de l'édifice.

Cependant, les documents générés par PointCab présentent certaines limites liées aux données LiDAR. Certains éléments n'ont pas été enregistrés dans le nuage de points, ce qui rend le dessin moins précis lors de la reprise sur AutoCAD. La méthodologie de dessin a été ajustée pour chaque document, en fonction des manques relevés.

Concernant la coupe de la charpente lambrissée, l'insuffisance d'éclairage dans certaines zones des combles assombrit fortement l'image. L'épaisseur de la toiture n'est pas perceptible et les deux fermes ne correspondent pas exactement au dessin de la charpente du XIV^{ème} siècle réalisé par A. Mélon (voir Figure 66).

Pour l'élévation de la façade septentrionale médiévale, les pierres en grès houiller et les briques, situées respectivement dans la partie basse et haute, sont difficilement perceptibles, tandis que les pierres en calcaire de Meuse, localisées au centre, apparaissent plus nettes et sont plus faciles à dessiner (voir page suivante, Figure 67).

La façade sur rue a quant à elle été dessinée à partir des données issues de PointCab combiné avec l'orthophoto produite par photogrammétrie terrestre, cette dernière offrant une meilleure précision pour les détails de toiture et de fenêtres (voir page suivante, Figure 68).

Enfin, le plan cadastral primitif a été redessiné dans AutoCAD à partir des documents de O. Gilgean, afin de mettre en évidence les éléments environnant l'infirmerie comprenant différents calques de dessin. Ces calques reprennent les différents lots de vente, l'emprise supposée du complexe abbatial, l'église, les bâtiments claustraux, ainsi que le tracé de la Meuse et du cours d'eau.

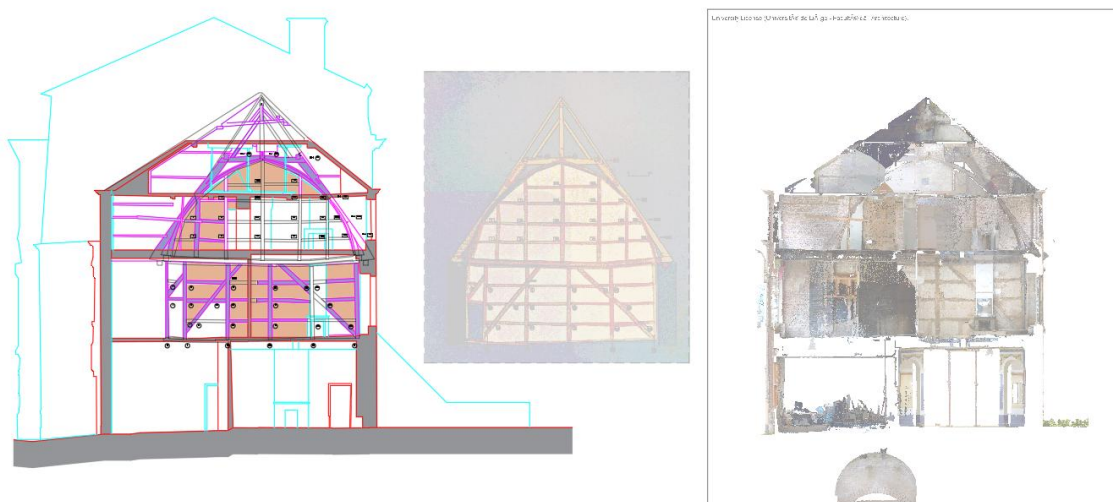


Figure 66: Coupe vers l'est au niveau de la ferme XVI redessinée à partir du document O. Noël sur AutoCAD (à gauche) sur base de l'infographie d'A. Mélon Source (Bolle & Léotard, 2014) (au milieu) et la coupe obtenue sur PointCab (à droite). ©M. Bauvir



Figure 67 Façade septentrionale redessinée sur AutoCAD sur base du document PointCab



Figure 68: Façades à rue redessinées sur AutoCAD (à gauche), sur base de l'orthophoto (au centre) et de l'élévation de PointCab (à droite). ©M. Bauvir

La seconde partie de création de documents s'est penchée sur la production des planches dessinées à l'aide de la plateforme en ligne Sora. Cet outil permet de générer rapidement des illustrations à partir d'une description textuelle et d'images de référence, contrairement au dessin à la main qui requiert un travail long et minutieux. Ces planches de bande dessinée apportent une dimension narrative aux événements marquants, illustrant notamment les interventions de Charles Téméraire, la sécularisation de l'abbaye, les scènes des charpentiers et des personnages pour les peintures (voir Figure 69).

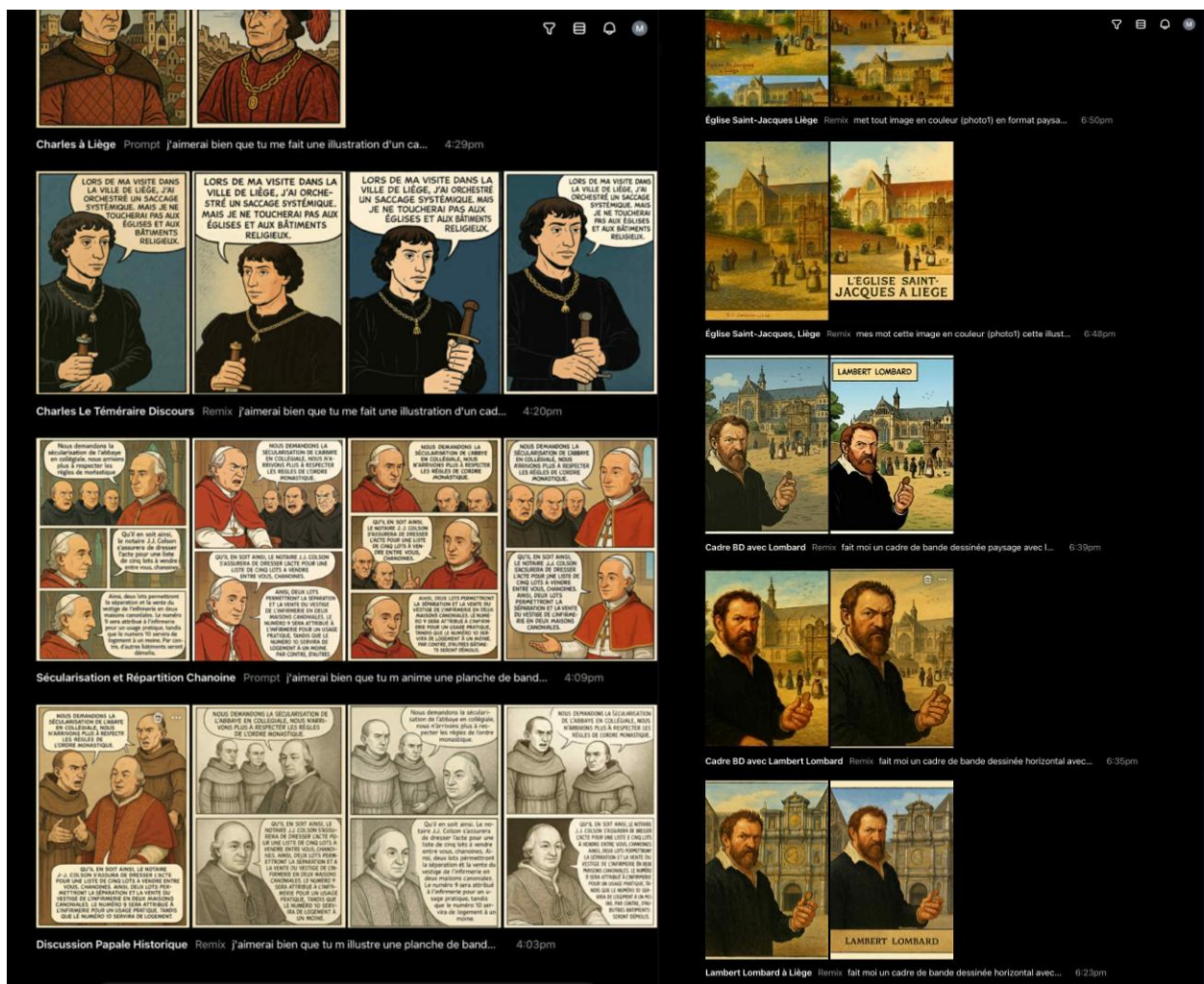


Figure 69: Création de différentes planches de bande dessinée à l'aide de la plateforme Sora IA.

Toutefois, l'IA présente certaines limites. Les résultats varient d'une requête à l'autre, rendant difficile la reproduction d'une image précise. Les scènes complexes entraînent parfois des erreurs, telles que le texte des bulles modifié, des difficultés à identifier le personnage qui parle, des déformations du visage ou des membres, ou encore des ajouts non souhaités dans les arrière-plans, comme la modification du portail Renaissance attribué à Lambert Lombard ou de l'église.

Pour contourner ces problèmes, chaque élément a parfois été créé séparément. Par exemple, le portrait de Lambert Lombard est basé sur son autoportrait (voir Figure 70), et l'église Saint-Jacques a été représentée par une recolorisation, par l'IA, à partir d'une illustration issue des collections de l'ULg (voir Figure 71). Sora se révèle être un outil puissant, mais il nécessite des requêtes claires et simplifiées afin de limiter les retouches ultérieures dans un autre logiciel, tel qu'Affinity.



Figure 70: À gauche : Autoportrait de Lambert Lombard.

Source Meisterdrucke. (s.d.). Autoportrait, 1927. Consulté le 1 juillet 2025, à l'adresse <https://www.meisterdrucke.fr/fine-art-prints/Lambert-Lombard/724127/Autoportrait,-1927.html>

Au milieu : Source Picryl (s.d.). Portail de l'église Saint-Jacques à Liège. Consulté le 1 juillet 2025, à l'adresse <https://itoldya420.getarchive.net/amp/topics/portal+of+eglise+saint+jacques+liege>

À droite : Fusion des deux images générées en bande dessinée par la plateforme Sora.

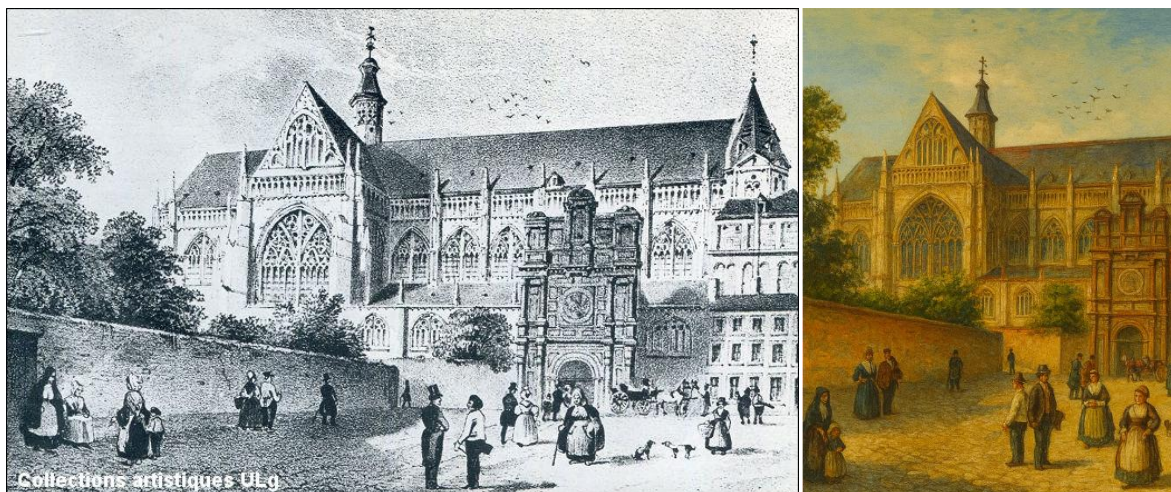


Figure 71: À gauche : Dessin de la collection artistique ULg Église Saint-Jacques. Source. (Warzée. 2022). Histoires de Liège Consulté le 1 juillet 2025, à l'adresse <https://histoiresdeliege.wordpress.com/2022/07/26/leglise-saint-jacques-le-mineur-et-ses-alentours/> à droite : Image recolorisée par l'IA à l'aide de Sora.

10.1.2 Rendu et superposition des documents 2D

Après la création des éléments 2D, le travail s'est poursuivi par la finalisation du rendu et la superposition des différents éléments sur des calques distincts. Cette organisation permet d'obtenir un aperçu clair et modulable des informations destinées à être communiquées sur la plateforme en ligne.

Le logiciel Affinity a été employé pour rassembler et superposer les documents vectoriels, les planches de bande dessinée, les extraits de la littérature scientifique et les annotations. L'application Procreate a, quant à elle, été utilisée pour la réalisation de croquis. L'intérêt principal réside dans l'usage des calques dans les deux outils. Ces calques peuvent être activés, masqués ou rendus partiellement transparents, permettant de visualiser des rendus et facilitant un placement précis de chaque élément. Ces calques peuvent ensuite être exportés individuellement au format PNG, avec fond transparent, prêt à être utilisés ultérieurement.

Par exemple, dans le cas de la coupe de la charpente lambrissée de la ferme n°XVI, chaque élément est isolé, comme la coupe actuelle, les structures récentes, les annotations, les différentes pièces de la charpente et des pans de bois et l'image de l'IA (voir Figure 72).

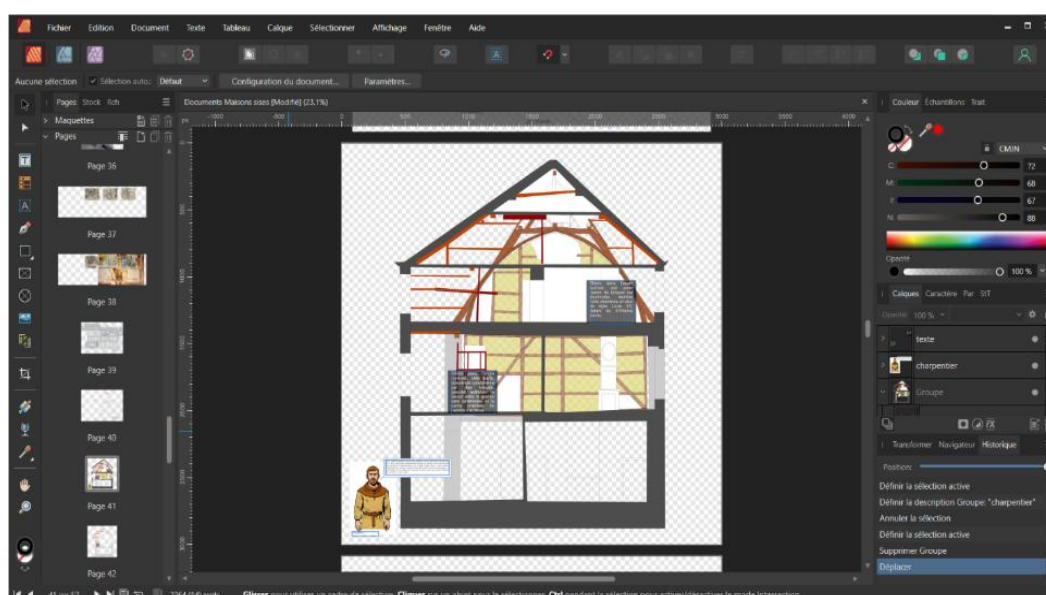


Figure 72 : Superposition des calques et rendu de la coupe est au niveau de la ferme n°XVI sur le logiciel Affinity ©M. Bauvir

Ce principe de superposition de couches s'est révélé particulièrement judicieux pour rendre les documents interactifs, tels que les plans des différents niveaux (rez-de-chaussée, premier et troisième étage), la coupe du pignon oriental intérieur, la coupe de la charpente, les façades septentrionales et à rue, le plan cadastral, et les peintures murales du XVI^{ème} siècle.

D'autres documents issus de la littérature n'ont pas été retravaillés, mais simplement superposés. C'est le cas de la photographie SPW-DG04 du mur de refend, qui sera accompagnée de plusieurs illustrations. Le pignon oriental, conçu par O. Gilgean, sera associé à de simples annotations. Enfin, les deux documents de la façade méridionale, réalisés par les infographistes A. Mélon et J.-F. Lemaire, seront superposés pour montrer son évolution, à partir d'un tracé régulateur. Ce document permet d'analyser les remaniements effectués au cours du temps (voir Figure 73).

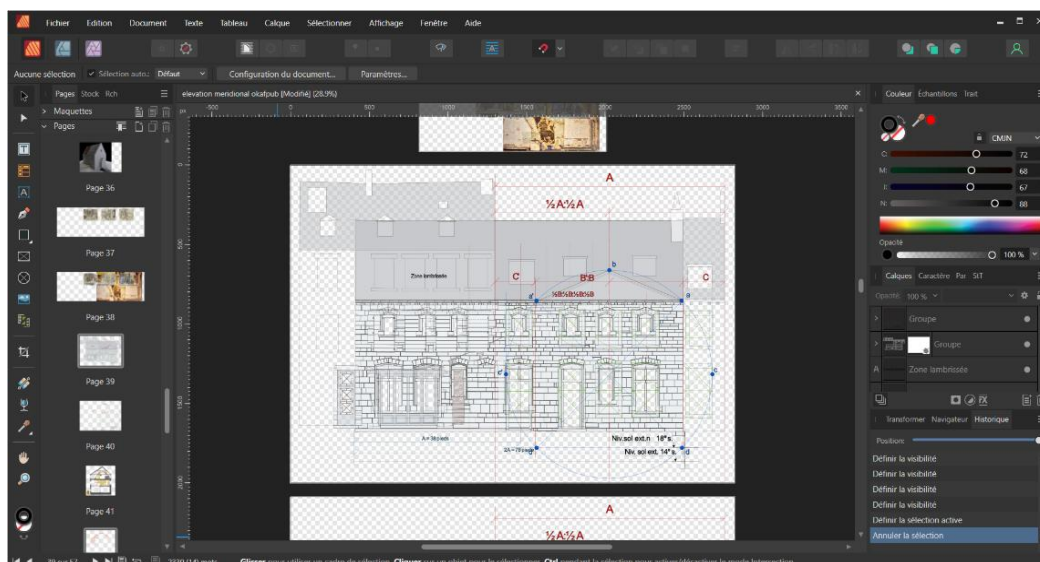


Figure 73 : Superposition des documents issus de la littérature de la façade méridionale. Infographistes A. Mélon et J.-F. Lemaire (source Bolle & Léotard, 2014), sur Affinity. ©M. Bauvir

L'ensemble de ces documents, une fois préparés dans Affinity, est organisé sur des planches en fonction des informations à présenter. Ce processus est chronophage, car il nécessite l'exportation séparée de chaque élément au format PNG, puis leur conversion en HTML pour intégration sur la plateforme. De plus, Affinity a servi à corriger certaines erreurs provenant de la plateforme Sora pour ajuster les yeux des personnages, corriger du texte, ajouter des bulles de dialogue, etc. (voir Figure 74).

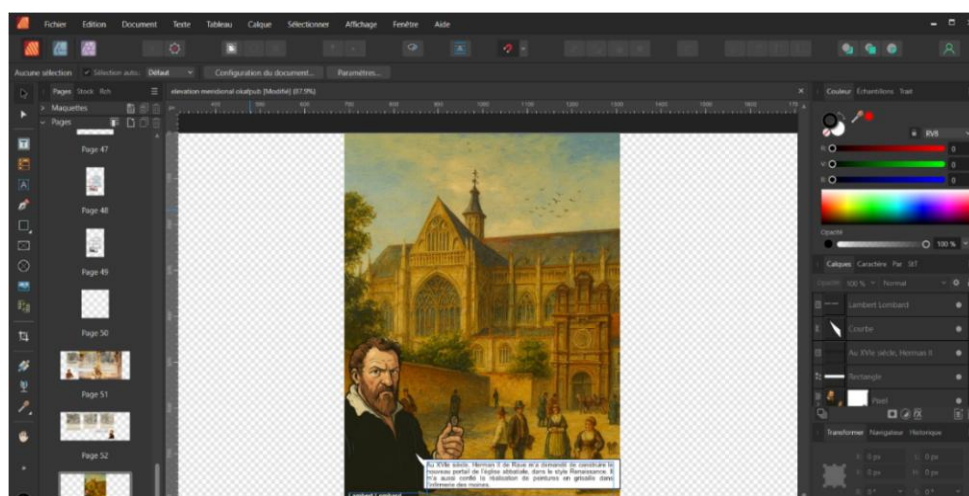


Figure 74: Assemblage de la bande dessinée générée par Sora sur Affinity. ©M. Bauvir

Deux croquis supplémentaires ont été créés dans l'application Procreate sur base de la maquette NavVis IVION, selon le même principe de calques exportés individuellement au format PNG. Bien qu'en 2D, ces croquis proposent une autre vision du lieu en mettant en évidence ses différents composants (voir Figure 75).

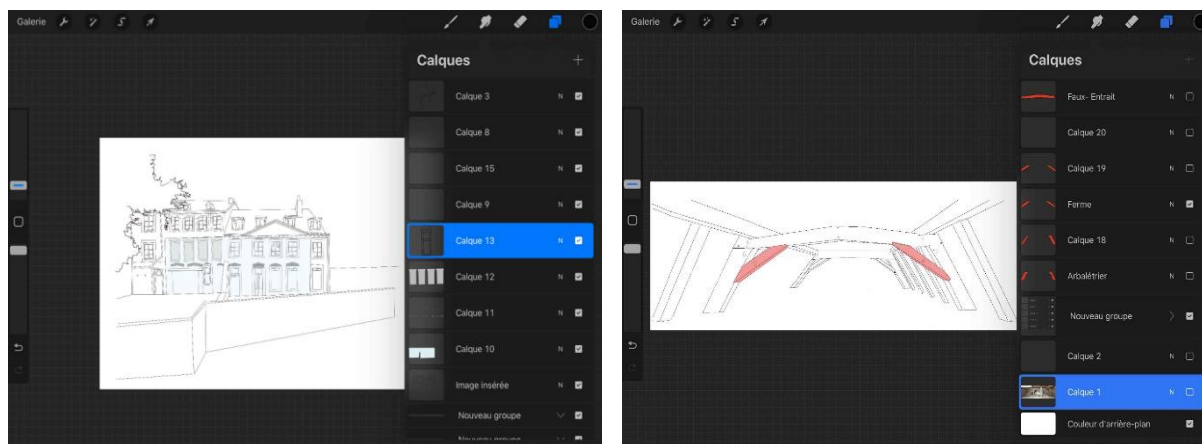


Figure 75: À gauche : croquis de la façade méridionale. À droite : croquis de la charpente traditionnel au troisième étage de la maison n°9. ©M. Bauvir

10.2 Documents 3D

Une maquette 3D est plus immersive qu'un plan 2D et permet une meilleure compréhension du site pour un large public.

Une maquette de contexte de la place Émile-Dupont a été réalisée dans le cadre du cours « Documentation et modélisation du patrimoine » (ARCH0594-1). Contrairement aux autres documents sur le relevé NavVis VLX de deuxième génération, cette maquette a été conçue à partir d'une photogrammétrie des façades à rue des maisons situées aux numéros 9 et 10, effectuée avec un appareil Nikon D3200. Malgré un reculement de plus de 44 m dans le parc Saint-Jacques, situé en face des deux maisons, les façades ne sont pas complètes au niveau des toitures (voir page suivante, Figure 76). L'usage d'un drone aurait permis des vues plus hautes et la capture complète des toitures, mais impliquait des contraintes, telles que la location de l'appareil, l'obtention d'un permis et les autorisations administratives.

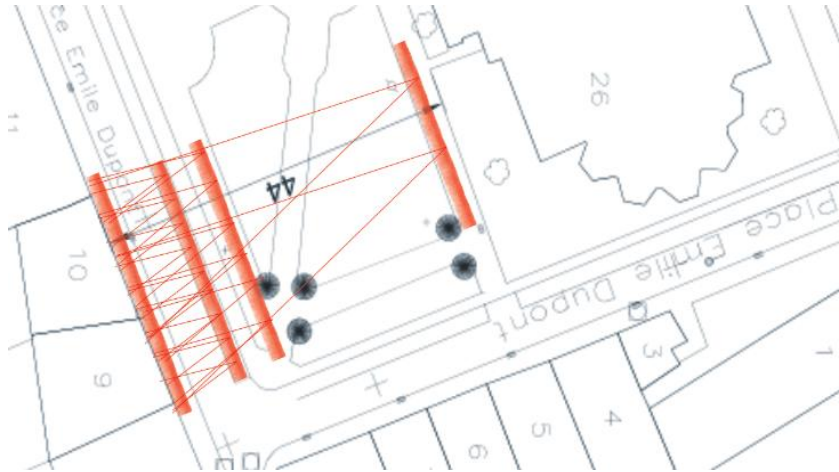


Figure 76: recouvrements des différentes prises de vue de la photogrammétrie. ©M. Bauvir

Le traitement de ces données a été réalisé à l'aide du logiciel Agisoft Metashape. Le processus a suivi les étapes nécessaires à la production des modèles (voir Figure 77). Chaque étape de modélisation a nécessité plusieurs heures de traitement en raison du volume important de données, soit 377 images. L'aide de l'enseignante ainsi que l'assistante du cours ARCH0594-1 ont été précieuses pour la prise en main du logiciel. Certaines difficultés ont toutefois été rencontrées, notamment lors de l'alignement des photos.

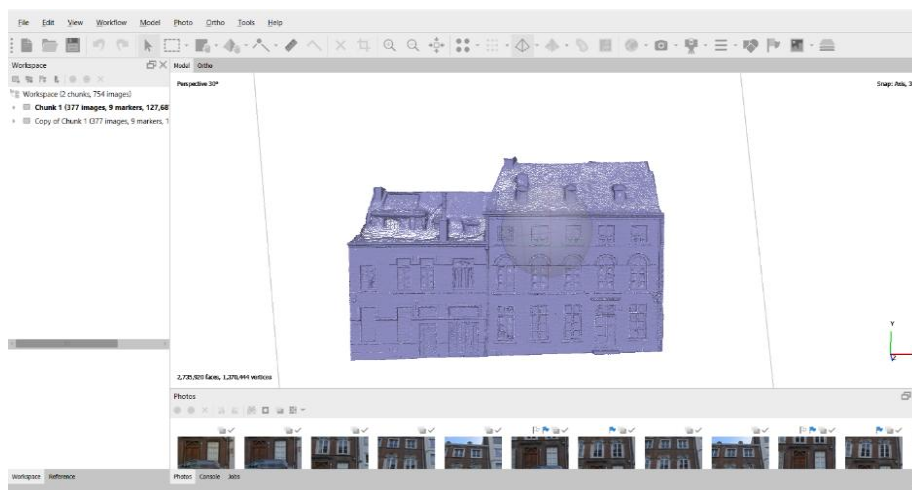


Figure 77: Model - wireframe sur la plateforme Agisoft Metashape. ©M. Bauvir.

En parallèle, le travail de modélisation a été initié dans le logiciel Blender. L'importation d'images de référence comprenant le plan cadastral, les plans, les coupes, les élévations de l'église Saint-Jacques, ainsi que de l'élévation arrière des maisons sises 9 et 10 ont servi de base pour tracer les volumes dans le logiciel. Ces volumes ont été construits à partir de formes géométriques simples, telles que des cubes, des sphères, des cylindres, des cônes, des cercles auxquels Blender attribue une dimension selon trois axes. Le logiciel offre ensuite la possibilité de déformer, d'extruder, de déplacer ou de pivoter ces éléments dans l'espace, facilitant ainsi une restitution des formes architecturales.

Une fois le modèle simplifié de la façade sur rue généré dans Agisoft Metashape, celui-ci a été exporté au format OBJ puis importé sur Blender. Après mise à l'échelle, il a servi de support pour la modélisation des deux façades des maisons n°9 et 10.

Cette phase de modélisation a nécessité plusieurs semaines de travail, en raison de la modélisation sur le logiciel Blender. Une attention particulière a été portée à la précision dans la déformation et l'orientation des volumes, pour une application correcte des textures sur ceux-ci. Malheureusement, cette étape n'a pas été totalement maîtrisée, compliquant par la suite certains ajustements liés à l'orientation des volumes.

Le modèle final obtenu sur Blender est exporté au format GLB puis importé sur la plateforme eCorpus du projet e.thesaurus (voir Figure 78). Ce format, léger, préserve les paramètres établis sur Blender et s'adapte facilement à l'affichage web. La plateforme eCorpus permet non seulement la gestion et l'annotation des scènes 3D, mais aussi la création de visites guidées et la liaison entre articles. Certaines fonctions, comme la coupe d'un modèle en deux, peuvent être réalisées manuellement, comme cela a été fait sur la maquette de 1730 représentant le contexte liégeois autour de l'infirmirie des moines.



Figure 78 : Modélisation du contexte de la place Emile-Dupont dans Blender ©M. Bauvir

Il convient de noter que cette maquette était déjà disponible sur la plateforme eCorpus. Elle a été dupliquée afin d'y intégrer uniquement les informations relatives au contexte entourant l'infirmerie des moines. Par conséquent, la plateforme Sketchfab n'a pas été retenue, eCorpus offrant déjà des fonctionnalités d'interaction similaires tout en hébergeant le modèle initial. En revanche, l'axe de rotation de l'objet étant prédéfini, cela a limité notre capacité à nous déplacer dans le modèle. Même si toutes les fonctionnalités d'eCorpus n'ont pas été exploitées, la plateforme offre un environnement riche et adapté à l'interaction avec les modèles 3D (voir Figure 80 et Figure 81).

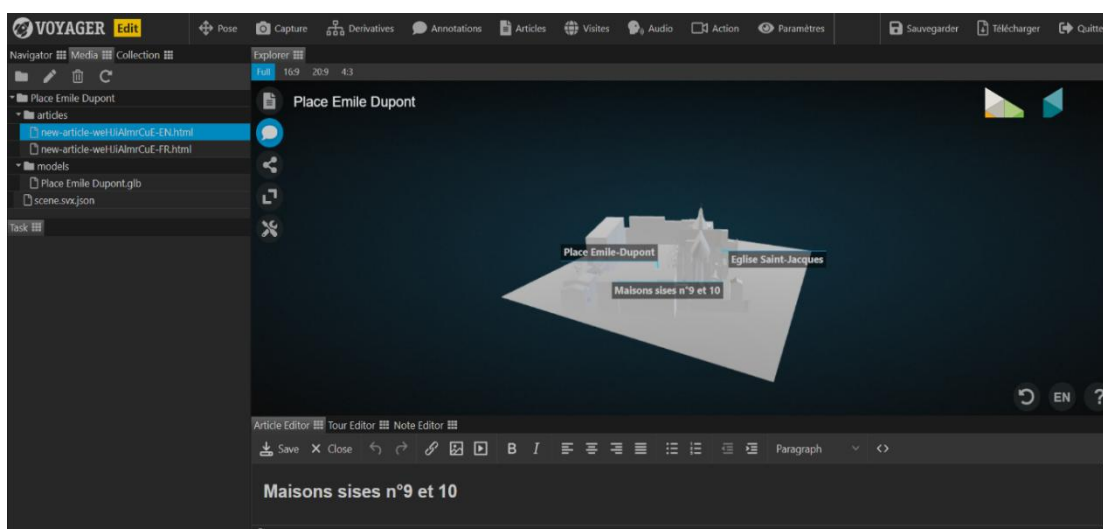


Figure 80 : Maquette du contexte de la place Emile-Dupont sur la plateforme eCorpus ©M. Bauvir

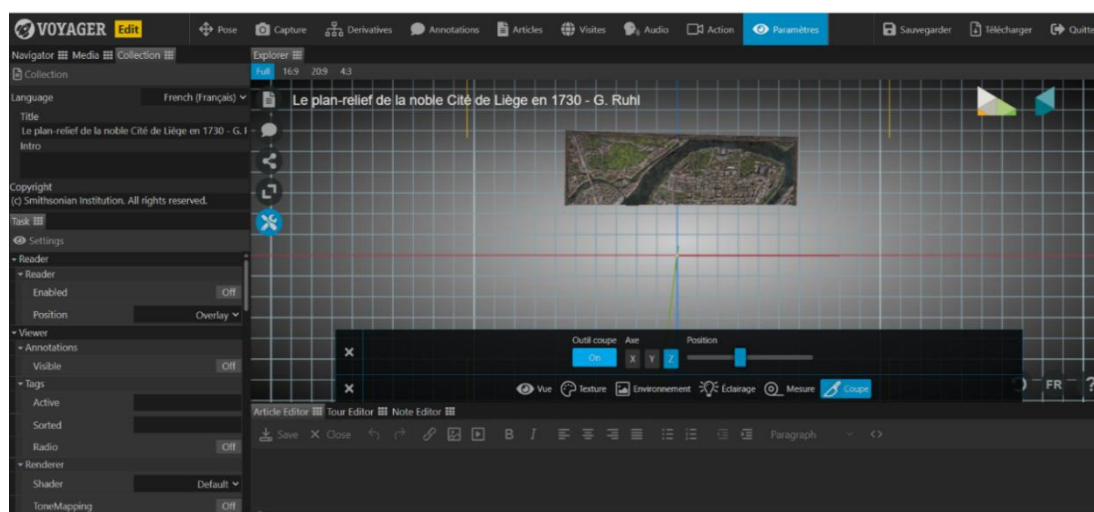


Figure 80 : Maquette de Ruhl de 1730 de la ville de Liège, numérisée sur la plateforme eCorpus coupée en deux et annotée par M. Bauvir

Une fois la maquette prête, le partage s'est effectué via un simple lien HTML ou en l'intégrant directement dans un site ou une application (voir Figure 81).

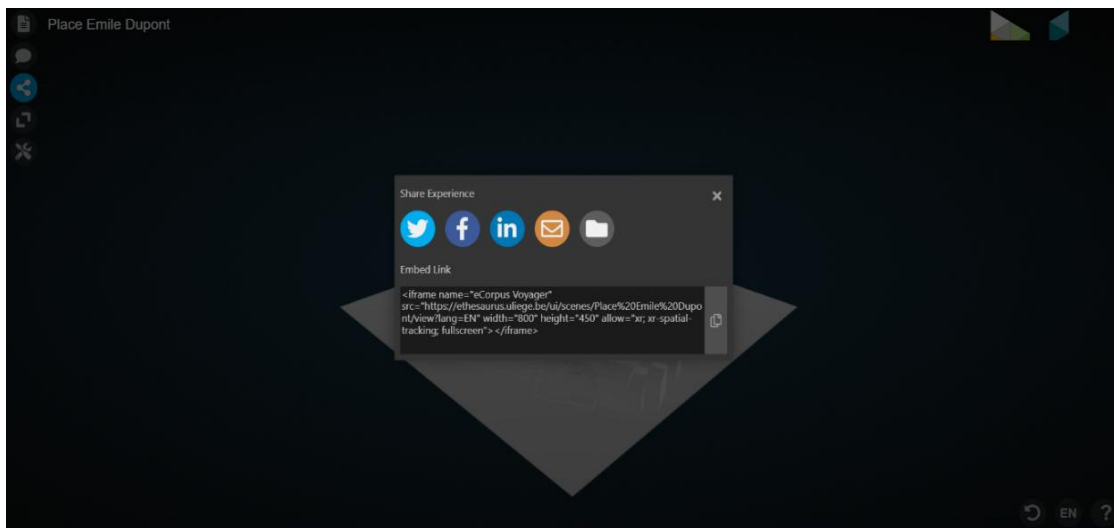


Figure 81: Lien HTML de la maquette de la place Emile-Dupont sur la plateforme eCorpus ©M. Bauvir

L'ensemble des productions de documents 2D et 3D a permis de développer des plans, des coupes et des élévations détaillés aux restitutions narratives. Les outils utilisés, PointCab, AutoCAD, Sora, Affinity, Procreate, Agisoft Metashape, Blender et eCorpus se sont révélés complémentaires pour obtenir des documents interactifs. Les documents 2D offrent une lecture claire de l'organisation spatiale et des transformations architecturales, tandis que les modèles 3D apportent une dimension immersive facilitant la compréhension et la valorisation du patrimoine.

Ces supports constituent ainsi une base essentielle pour la diffusion et la valorisation du projet, et trouveront leur pleine expression à travers le site web conçu pour un large public.

11 CRÉATION DU SITE WEB

La création du site a été réalisée sur la plateforme Observable, qui permet de concevoir des notebooks interactifs. Les choix de codes utilisés sont présentés dans ce chapitre et peuvent être consultés sur la plateforme. En annexe 2 se présente l'ensemble des documents sans les codes visibles et l'annexe 3 reprend l'ensemble des lignes de code exportées depuis la plateforme. L'objectif n'est pas ici de fournir une analyse technique exhaustive du code, mais plutôt d'en présenter le fonctionnement et d'évaluer la facilité de mise en place de l'outil.

La création d'un notebook sur Observable est simple et rapide : après la création d'un compte gratuit, il suffit de cliquer sur « New Book » afin de générer un nouveau document, intitulé ici « L'ancienne infirmerie des moines de l'abbaye de Saint-Jacques » (voir Figure 82).

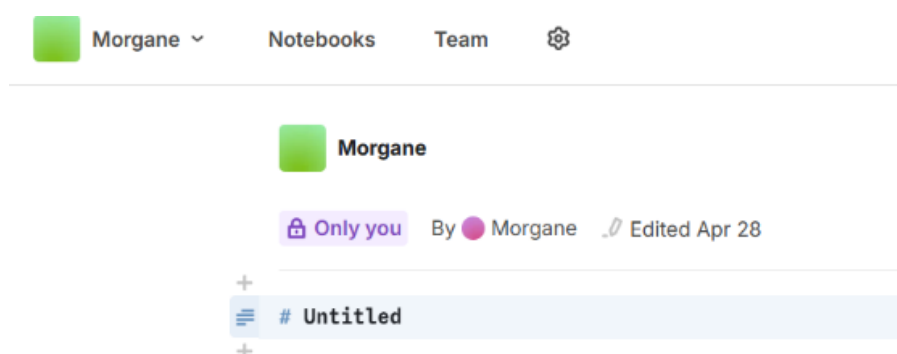


Figure 82: Création d'un notebook sur la plateforme Observable ©Bauvir M.

Ces notebooks peuvent être conçus de manière collaborative et être rendus accessibles au public. Trois langages sont principalement utilisés sur la plateforme : Markdown, HTML et JavaScript, auxquels il est possible d'ajouter d'autres types de données. Observable permet de visualiser directement le rendu du code dans des cellules, qui peuvent être affichées ou masquées à l'aide d'un système de « punaise ». Afin d'optimiser l'intégration et la structuration du code, l'aide de R. André, spécialiste en développement de logiciels, a été précieuse.

Le langage Markdown a été privilégié pour le formatage simple du texte, sans recourir à l'écriture complète en HTML. Il permet par exemple de mettre un mot en italique ou en gras avec des astérisques, ou encore de structurer des paragraphes et d'ajouter des titres et sous-titres (voir Figure 83). L'HTML a été utilisé pour la conception de la table des matières, afin de structurer le site et d'offrir aux lecteurs la possibilité d'accéder directement au chapitre souhaité avec des liens cliquables, tout en revenant facilement en haut de la page grâce à l'identifiant « TOP ».



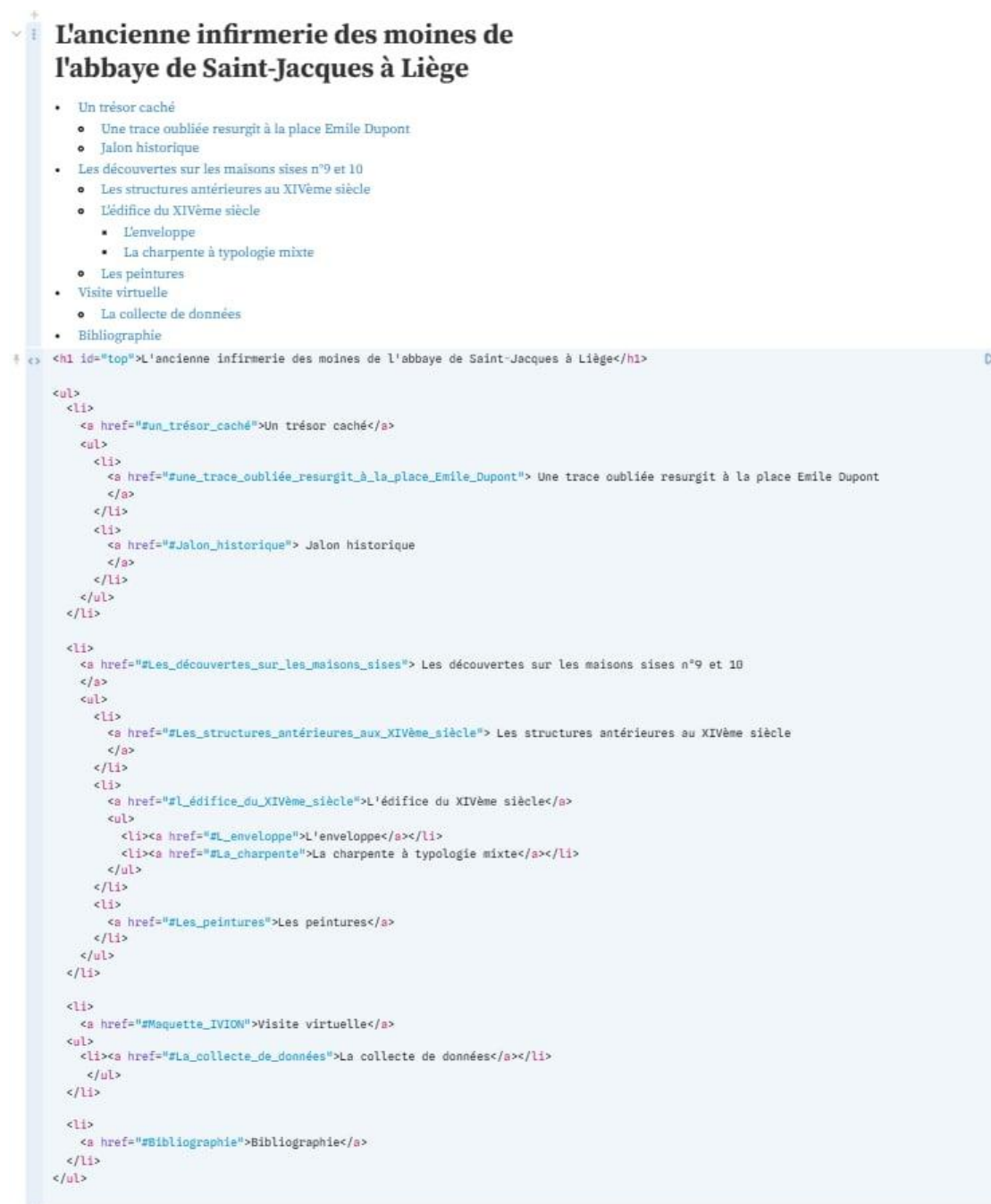
Figure 83: Modification du style en langage Markdown sur la plateforme Observable ©M. Bauvir.

Un premier modèle de code, fourni par R. André, a servi de base. Celui-ci a été réparti en plusieurs cellules, chaque titre ou sous-titre étant inséré séparément (voir Figure 84). La structuration demande une certaine rigueur. Par exemple, les identifiants des titres ne doivent pas contenir d'espace sous peine de rendre le code inopérant. À partir de ce modèle, les titres ont été complétés et hiérarchisés (titres, sous-titres, sous-sous-titres). Cette étape peut s'avérer complexe en l'absence d'exemple préalable, notamment lorsque plusieurs niveaux de titres doivent être intégrés.



Figure 84: Code HTML de la Table des matières sur Observable proposé par R. André

Pour résoudre certaines erreurs, le recours à des outils d'intelligence artificielle, tels que ChatGPT s'est avéré utile, notamment pour corriger la syntaxe ou ajuster les renvois internes. Afin d'éviter toute confusion, les identifiants ont été multipliés (par exemple « TOP2 ») lorsqu'il s'agissait de gérer plusieurs codes de renvoi. Au total, quatre types de renvois ont été mis en place, un vers la table des matières, un second vers les façades, un troisième vers les charpentes et un quatrième vers les peintures (voir ci-dessous et page suivante, Figure 85).



- ◀

al

▶

onale rionale

- < >

▶

si que

brissée

▶

s pein

- <

▶

▶

▶

plinthe noire

▶

Figure 85: Modification du code HTLM de la Table des matières de R. André sur la plateforme Observable. © M. Bauvir.

Par ailleurs, l'intégration de sources externes est facilitée par l'usage du langage HTML. Cette méthode a notamment permis d'insérer les deux maquettes disponibles sur la plateforme eCorpus, en intégrant leur lien HTML au sein d'une cellule dédiée. Seule la largeur de l'élément a été modifiée afin d'adapter l'affichage (voir Figure 86). Cette même procédure a été utilisée pour l'intégration de la maquette NavVis IVION, en modifiant la source `src="https://..."` du code (voir page suivante, Figure 87).

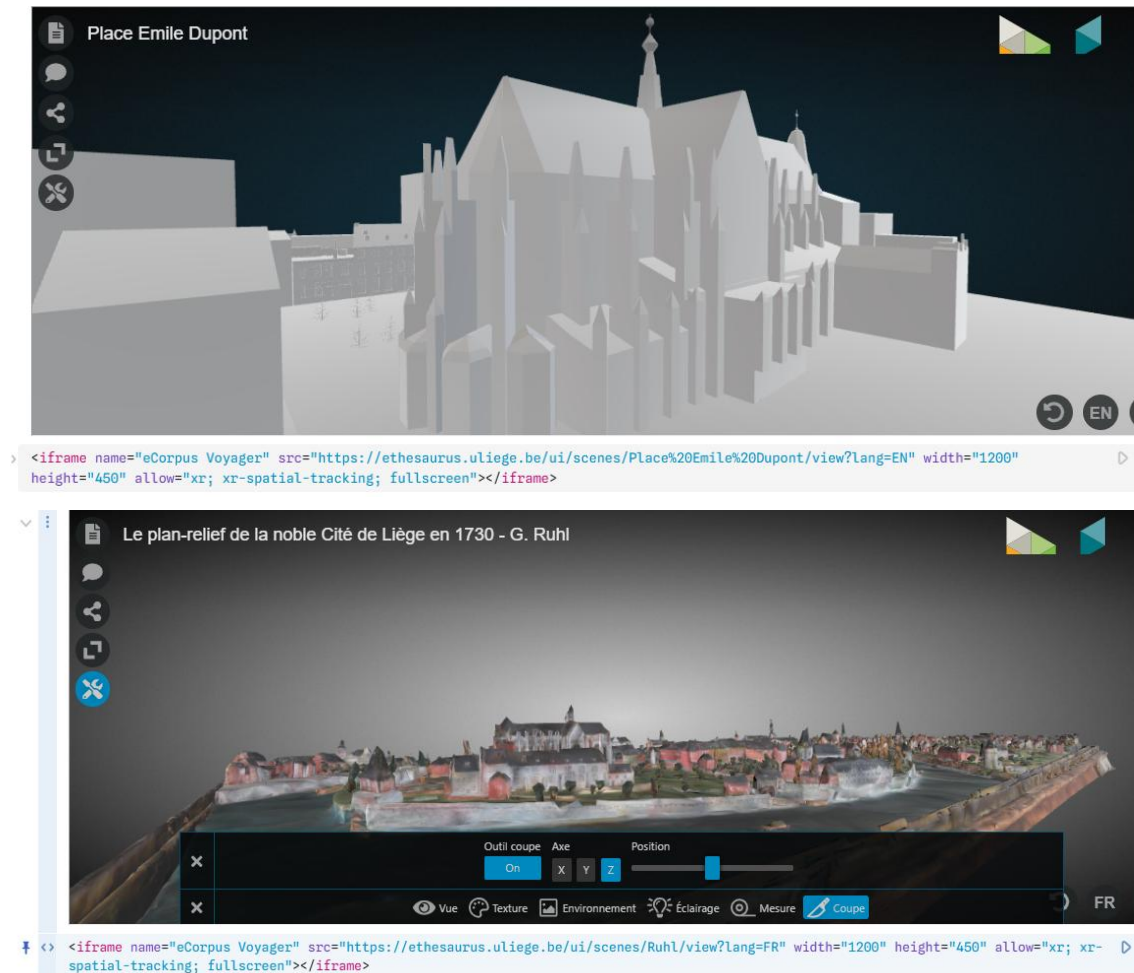


Figure 86: Liens HTML des maquettes sur la plateforme eCorpus mit sur la plateforme Observable



Figure 87: Ligne de code reprise de la plateforme eCorpus puis modifiée pour mettre le lien HTML de la maquette IVION sur la plateforme Observable ©M. Bauvir

Cependant, lors de cette insertion, la maquette IVION ne s'affichait pas sur la plateforme Observable, en raison des restrictions de sécurité imposées par le site de NavVis IVION. Afin de contourner ce problème, des ajustements ont été réalisés par Madame Schreurs, qui a accédé aux paramètres de configuration du site. Dans la section Security, elle a activé l'option Allow IFRAME embedding et autorisé la plateforme Observable à intégrer le contenu IVION.

Afin de rendre la maquette accessible à tous les utilisateurs sans authentification, Madame Schreurs a désactivé le mode privé (Enable private mode) en se rendant dans la section Instance > Privacy de la configuration de la plateforme IVION.

Il convient de noter que ces réglages ne peuvent être modifiés que par des personnes disposant des droits d'administration sur la plateforme NavVis IVION.

La plateforme Observable permet également l'intégration d'autres types de données interactives, telles qu'une carte dynamique réalisée à l'aide de la bibliothèque Leaflet.js. Celle-ci repose sur la couche cartographique d'OpenStreetMap et est insérée via une cellule HTML. Par défaut, cette carte est définie avec une hauteur, mais sans largeur, et elle est initialement centrée sur la ville de San Francisco (voir Figure 88).

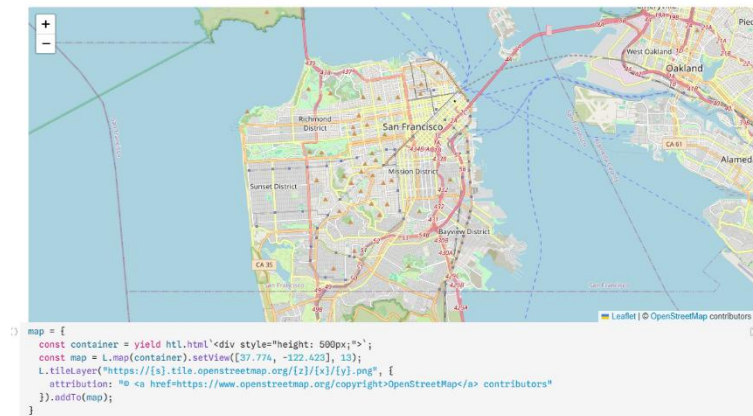
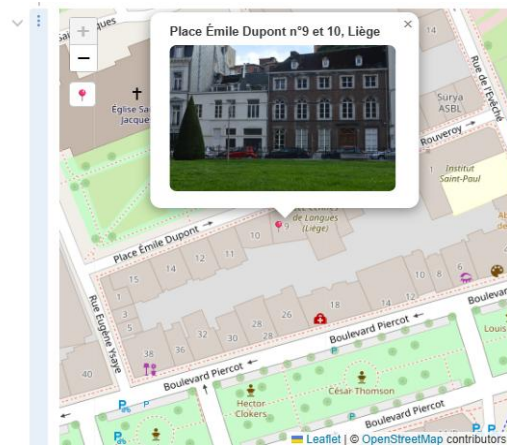


Figure 88: Carte interactive prédéfinie sur Observable.

Afin de localiser précisément les maisons situées aux numéros 9 et 10, le code a été modifié pour intégrer les coordonnées géographiques correspondant à notre cas d'étude : 50°38'11.0" N, 5°34'16.3" E. Un marqueur en forme d'épingle a été ajouté pour indiquer l'emplacement de ces maisons sur la carte OpenStreetMap. Ce marqueur est positionné à l'aide des coordonnées mentionnées ci-dessus. Une icône identique est également placée dans le coin supérieur gauche de la carte permettant de recentrer automatiquement la vue sur le marqueur. De plus, une fenêtre contextuelle (popup) s'ouvre à cet emplacement pour afficher l'adresse du site ainsi qu'une photographie illustrative (voir page suivante, Figure 89).

Nous avons également défini une largeur pour le cadre de la carte en ajoutant la propriété CSS suivant : width: 500px. Ainsi, le cadre de la carte est désormais configuré avec des dimensions fixes de 500x500 pixels.

Ces modifications ont été générées à l'aide de l'outil ChatGPT, bien que la localisation exacte des objets ait dû être corrigée manuellement pour garantir leur précision.



```

() viewof map = {
  const container = yield htl.html`<div style="height: 500px; width: 500px;">`;

  const map = L.map(container).setView([50.6364, 5.5712], 20);

  L.tileLayer("https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png", {
    attribution: "© <a href='https://www.openstreetmap.org/copyright'>OpenStreetMap</a> contributors"
  }).addTo(map);

  // Créer un marqueur personnalisé avec l'icône
  const locateIcon = L.divIcon({
    className: 'custom-icon',
    html: '📍',
    iconSize: [32, 32],
    iconAnchor: [16, 32],
    popupAnchor: [0, -32]
  });

  // Contenu HTML du popup avec l'image
  const popupContent = `
    <b>Place Émile Dupont n°9 et 10, Liège</b><br>
    
  `;

  const marker = L.marker([50.6364, 5.5712], { icon: locateIcon }).addTo(map)
    .bindPopup(popupContent);

  const locateButton = L.control({position: 'topleft'});

  locateButton.onAdd = function() {
    const btn = L.DomUtil.create('button', '');
    btn.innerHTML = '📍';
    btn.style.backgroundColor = 'white';
    btn.style.border = '2px solid #ccc';
    btn.style.borderRadius = '5px';
    btn.style.cursor = 'pointer';
    btn.style.padding = '5px';
    btn.onclick = () => {
      map.setView([50.6364, 5.5712], 20);
      marker.openPopup();
    };
    return btn;
  };

  locateButton.addTo(map);

  return container;
}

```

Figure 89 : Carte interactive prédéfinie sur Observable puis modifiée pour localiser les maisons sises n°9 et 10 place Emile-Dupont ©M. Bauvir.

De plus, il est également possible d'annoter directement une image à l'aide du langage HTML, à condition que celle-ci soit transformée en lien HTML. Ce type de code, généré à l'aide d'une intelligence artificielle, permet notamment de faire apparaître un texte au survol de l'image par la souris (voir Figure 90).

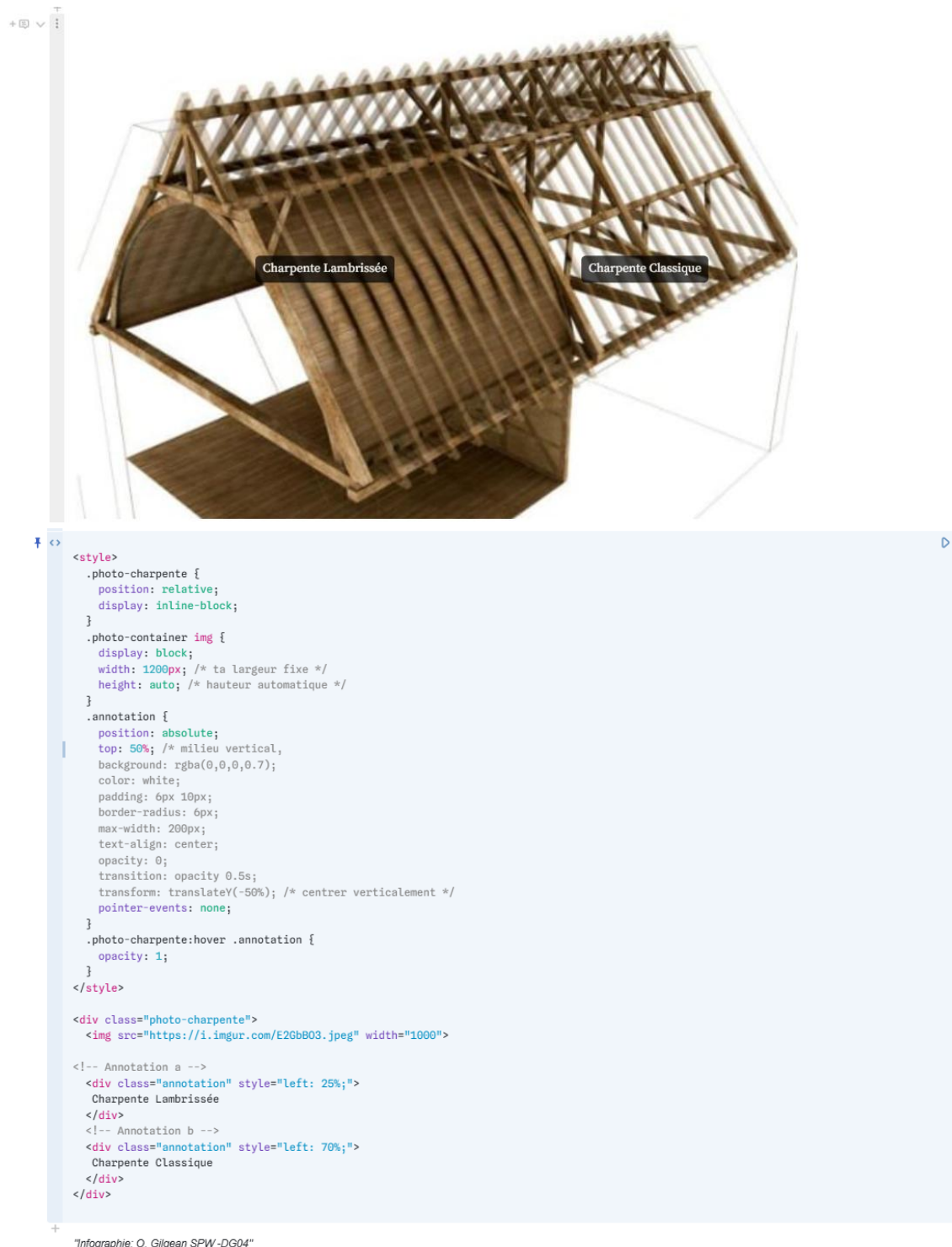


Figure 90: Image de la modélisation de la charpente à typologie mixte de l'infographiste O. Gilgean, SPW- DG04. Source (Bolle et al. 2014). Annotée avec le langage HTML © M. Bauvir.

Enfin, le dernier langage utilisé dans ce projet est JavaScript, principalement pour l'insertion d'images seules, au format PNG, téléchargées sur la plateforme Observable, ou encore pour rendre certains documents interactifs.

Ce choix d'interactivité vise à faciliter la compréhension du projet par les visiteurs, en leur permettant de visualiser de manière dynamique des éléments significatifs du lieu étudié. À titre d'exemple, pour illustrer la situation des bâtiments claustraux, une version interactive du plan cadastral de 1827 a été conçue. Celle-ci intègre des cases à cocher permettant d'identifier les différents lots vendus et de mieux situer le contexte.

D'autres documents graphiques ont également été rendus interactifs sur la plateforme, comme les plans du rez-de-chaussée, du premier étage, du troisième étage, deux coupes (l'une au niveau du pignon oriental, l'autre au niveau de la ferme n°XVI côté charpente lambrissée), ainsi que les trois élévations médiévales encore existantes, deux croquis, et la salle de réception ou réfectoire, illustrant les peintures murales du XVI^e siècle.

Pour mettre en place cette interactivité, un code a été généré par R. André. Il permet d'afficher sur Observable des images superposées, créées et placées au préalable sur le logiciel Affinity, puis exportées au format PNG et converties en HTML. Ce procédé permet d'aligner parfaitement plusieurs couches d'images localisées au même endroit.

La première étape d'élaboration de l'interactivité consiste à utiliser un code proposé sur Observable, intégrant des cases à cocher (checkboxes) et une barre de défilement (range) permettant de moduler la transparence des images superposées (voir page suivante, Figure 91). Ce code a été adapté afin d'indiquer précisément quelles images doivent apparaître ou non. Dans un premier temps, les fichiers ont été nommés par numérotation, mais cette méthode s'est révélée peu pratique à mesure que le nombre d'éléments augmentait (voir page suivante, Figure 92). Par conséquent, un système de nommage plus explicite a été mis en place, chaque image portant désormais un nom descriptif. Plus d'une vingtaine de documents interactifs seront générés selon cette logique.

Concernant les images nécessitant des niveaux d'opacité différents, un système de nommage spécifique a été adopté : chaque valeur d'opacité est intégrée directement dans le nom de l'image selon le modèle suivant : *opacity_nom_de_l_objet*. Ce nom se retrouve ensuite dans un second script HTML qui regroupe l'ensemble des images et leurs états d'affichage, comme pour les checkboxes.

En revanche, la création de plusieurs barres de transparence (range sliders) n'a pas pu être centralisée dans une seule cellule de code. Cela implique la création de plusieurs cellules distinctes, alignées successivement. Une réflexion complémentaire pourrait être menée afin d'optimiser les informations « range » et d'alléger le poids des interactions dans la plateforme Observable.

```

Select some ☒ A ☐ B
() viewof checkboxes = Inputs.checkbox(["A", "B"], {label: "Select some", value: ["A"]})
+
Amount 50
() viewof range = Inputs.range([0, 100], {label: "Amount", step: 1})
+

```

Figure 91 : Codes "Checkboxes" et "Range" proposés sur la plateforme Observable en langage JavaScript.

```

Afficher les éléments : ☒ Plan cadastral ☒ Meuse ☒ Abbaye Saint-Jacques ☒ Cloître
☒ Complexe abbatiale ☒ Infirmerie des Moines ☒ Infirmerie
☒ Logement d'un moine ☒ Lot non bâti ☒ Remparts ☒ Rivelette
☐ Texte ☐ Oiseaux

() viewof affichages= Inputs.checkbox(new Map([["Plan cadastral", "image1"], ["Meuse", "image2"], ["Abbaye Saint-Jacques", "image3"],
["Cloître", "image4"], ["Complexe abbatiale", "image5"], ["Infirmerie des Moines", "image6"], ["Infirmerie", "image7"], ["Logement d'un
moine", "image8"], ["Lot non bâti", "image9"], ["Remparts", "image10"], ["Rivelette", "image11"], ["Texte", "image12"], ["Oiseaux",
"image13"]]), {value: ["image1", "image2", "image3", "image4", "image5", "image6", "image7", "image8", "image9", "image10", "image11"], label:
"Afficher les éléments :"});

Opacité de la Meuse 0.8
() viewof opacity_meuse = Inputs.range([0, 1], { value: 0.75, step: 0.1, label: "Opacité de la Meuse" })

Opacité de la Rivelette 0.5
() viewof opacity_rivelette = Inputs.range([0, 1], { value: 0.5, step: 0.1, label: "Opacité de la Rivelette" })

Opacité des Remparts 0.5
() viewof opacity_remparts = Inputs.range([0, 1], { value: 0.5, step: 0.1, label: "Opacité des Remparts" })

```

Figure 92: Codes des "Checkboxes" et "Range" sur la plateforme Observable modifiés par R. André.

Dans le but d'associer chaque illustration au paramètre modifiable, une constante de code a été créée R. André, elle a été nommée *couches* et reprend les informations suivantes :

```
const couches = [ {  
  
  id: "l'identifiant de l'image",  
  nom: "de la couche",  
  visible: true ou false s'il est visible ou non  
  src: " sa source (https ://...) ",  
  x: 5, comment il est positionné dans le tableau sur l'axe des x  
  y: 2, comment il est positionné dans le tableau sur l'axe des y  
  width: 1000, sa largeur  
  height: 1000, sa hauteur  
  opacity: son opacité qui va être entre 0 et 1 si cette image est destinée à un  
  « checkboxes » ou par Opacity_suivie_d_un_nom si cette image est liée à « range ».  
  }  
]
```

Les éléments indiqués en gras dans le code sont adaptés pour chaque nouvelle image insérée. D'autres paramètres doivent également être ajustés dans cette cellule lorsque nous souhaitons que les éléments interactifs, tels que les checkboxes et les range sliders, fonctionnent correctement.

Pour intégrer des images dans ce code, il est possible de téléverser des fichiers au format PNG directement sur la plateforme Observable. Un lien HTML temporaire est alors généré, permettant d'intégrer l'image dans le script. Toutefois, ce lien n'est valide que pour une durée de trois jours, ce qui oblige à relancer le code régulièrement afin d'obtenir un nouveau lien actif (voir page suivante Figure 93).



Figure 93: Code en langage JAVASCRIPT pour importer les images en HTML sur la plateforme Observable conçu par R. André.

Afin de remédier à ce problème de lien temporaire, une première solution envisagée consistait à héberger les images sur une plateforme en ligne telle que Google Drive. Toutefois, cette option s’est avérée inadaptée, car Google Drive ne permet pas de générer un lien direct en mode public.

Une seconde solution, plus fonctionnelle, a été mise en œuvre : téléverser l’ensemble des images sur la plateforme IMGUR, qui permet de générer des liens HTML permanents. Pour obtenir le lien d’une image hébergée sur IMGUR, il suffit de faire un clic droit sur l’image, puis de sélectionner « Inspecter » dans le menu du navigateur afin d’accéder à l’URL directe de l’image (voir Figure 94).

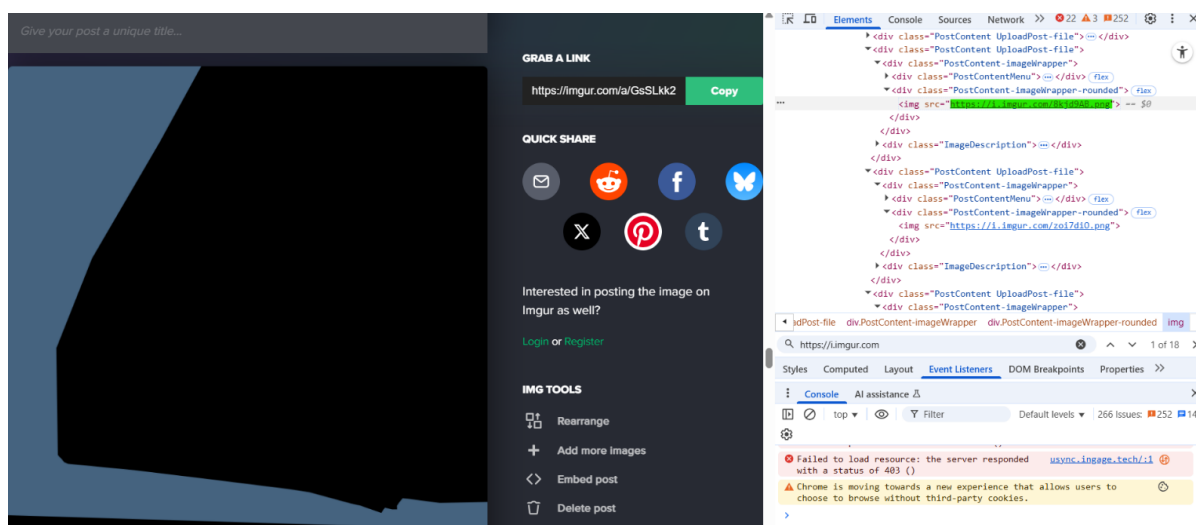


Figure 94 : A gauche : Création de lien HTML sur le site web IMGUR. À droite : surligné en vert le lien HTML de l'image. © M. Bauvir.

La création d’un site web via une plateforme de notebooks telle qu’Observable s’est révélée être une solution pertinente dans le cadre d’un projet de médiation du patrimoine bâti. D’une part, cette plateforme est gratuite, ce qui en fait un outil accessible ; d’autre part, elle permet l’intégration de documents interactifs, ainsi que l’insertion de liens vers d’autres ressources, comme des maquettes 3D. Ainsi, Observable facilite la compréhension de vestiges historiques en rendant leur documentation plus intuitive et dynamique.

Les trois langages utilisés, Markdown, HTML et JavaScript, sont relativement simples à mettre en œuvre dans leur usage de base. Toutefois, certaines fonctionnalités interactives, comme les cases à cocher (checkboxes) ou les barres de transparence (range sliders), nécessitent un niveau de précision plus élevé. En plus de l’aide de R. André pour la création de code, l’intelligence artificielle a permis de corriger certaines erreurs de syntaxe. Parmi les trois, JavaScript s’est avéré être le langage le plus complexe, en particulier lorsqu’aucun modèle de base n’était disponible pour guider la conception interactive. Par ailleurs, la répartition du code sur plusieurs cellules est indispensable, faute de quoi des messages d’erreur peuvent apparaître.

Malgré ces contraintes, il a été possible de trouver des solutions sans avoir recours à une formation approfondie en développement web. Quelques notions de base, transmises par R. André, ont suffi pour structurer le site et garantir sa fonctionnalité.

Concernant le design de la plateforme, celui-ci a été volontairement épuré afin de ne pas multiplier les effets visuels superflus. Le choix a été de se concentrer sur quelques interactions ciblées, utiles à la compréhension des documents, plutôt que de s'éparpiller. Cependant, des aspects comme la dimension des fichiers, les tailles d'affichage, ou encore le choix des polices et couleurs auraient pu être davantage optimisés pour améliorer l'esthétique et l'ergonomie du site.

En effet, la plateforme permettrait également de personnaliser davantage le rendu graphique (polices, couleurs de fond, hiérarchisation du contenu, etc.), mais ces ajustements, bien que mineurs, demandent du temps de développement. Dans notre cas, plusieurs semaines ont été consacrées à la mise en place du site. Le temps disponible, les compétences techniques et les objectifs du projet influencent fortement le niveau de finition atteignable.

Un autre point à souligner est la fragilité du système en cas de problème technique. Par exemple, une perte de connexion internet ou un bug de la plateforme peut entraîner le non-enregistrement des dernières modifications, comme cela a été observé une fois au cours du projet. Il est toutefois possible d'exporter tous les codes utilisés et de les partager dans d'autres notebooks, ce qui représente une forme de sécurité non négligeable.

Enfin, plusieurs pistes d'amélioration auraient pu être envisagées si le temps l'avait permis. Par exemple, l'ajout d'un lexique pour clarifier certains termes techniques, une présentation des personnages historiques associés au site, ou encore l'intégration d'annotations plus détaillées sur les maquettes, notamment en lien avec les peintures murales, les charpentes, les caves, etc. Il aurait également été pertinent de faire tester la plateforme par un panel d'utilisateurs : chercheurs, étudiants, utilisateurs non spécialistes, afin d'évaluer l'ergonomie et l'impact pédagogique de l'outil. Cette évaluation permettrait d'objectiver l'impact réel de la plateforme et d'orienter ses améliorations futures. Malheureusement, le temps nécessaire à la conception du site n'a pas permis d'inclure cette phase de test dans le cadre de ce travail.

12 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce travail avait pour ambition d'explorer comment les technologies numériques peuvent contribuer à la documentation et la médiation du patrimoine bâti, en particulier lorsque celui-ci est temporairement inaccessible au public. L'étude de cas, l'ancienne infirmerie des moines de l'abbaye de Saint-Jacques, a été choisie en raison de son passé historique riche ainsi que de la disponibilité de nombreuses données recueillies à l'aide de l'outil SLAM (NavVis VLX2).

L'objectif principal de cette recherche était de concevoir un prototype de plateforme web interactive, capable de restituer et de communiquer ce patrimoine dissimulé derrière deux façades à rue. Cette démarche s'est appuyée sur une méthodologie complète, allant de l'acquisition et du traitement des données à la création d'un scénario et d'un storyboard, jusqu'à la production de documents 2D et 3D intégrés dans une plateforme web.

La partie théorique du mémoire a permis de poser les concepts liés au patrimoine bâti en explorant les enjeux liés à son accessibilité, sa protection et sa transmission. L'état de l'art a offert une vue d'ensemble des technologies de relevé et de restitution numérique en 3D, soulignant l'intérêt pour une approche digitale du patrimoine, capable de toucher un large public. Cette analyse des technologies a conduit au choix de la technologie SLAM pour sa rapidité et sa facilité d'usage, malgré une précision moindre comparée à d'autres méthodes, telles que le scanner laser terrestre.

La phase pratique s'est articulée autour de plusieurs étapes. Elle a débuté par la planification du second relevé en identifiant les zones manquantes et les contraintes du site pour compléter le premier relevé de 2024. Elle s'est poursuivie avec l'acquisition de données supplémentaires à l'aide du NavVis VLX de deuxième génération. Cette étape a été plus laborieuse que prévu, en raison de la complexité spatiale du site et du faible éclairage intérieur dans certaines pièces à scanner. Les données ont ensuite été traitées, alignées et nettoyées via la plateforme NavVis IVION. Les résultats obtenus avec le NavVis VLX2 dépendent de l'ambiance du lieu. Enfin les documents 2D et 3D ont été conçus à partir de la maquette IVION, de documents issus de la littérature et d'un relevé de photogrammétrie réalisés lors des travaux pratiques des façades à rues. Malgré les contraintes du site, les outils numériques choisis se sont révélés adaptés.

En parallèle, l'élaboration du scénario et du storyboard a permis de structurer les informations sur le cas d'étude et de proposer une expérience pédagogique et immersive pour le public. Celui-ci est alimenté par des idées d'interactions à cocher, des curseurs et des annotations sur les documents graphiques, ainsi que par des planches de bandes dessinées.

Tout au long de ce processus de création de documents, plusieurs logiciels, applications et plateformes ont été mobilisés (PointCab, AutoCAD, Sora, Affinity, Agisoft Metashape, Blender, eCorpus). Chacun d'entre eux a contribué à sa manière à la production finale souhaitée. Bien que chronophage et exigeante, l'ensemble de ces étapes s'est révélé important pour garantir la qualité des documents produits et peut demander une maîtrise de ces outils.

La phase de réalisation du site web s'est réalisée sur la plateforme Observable, choisie pour sa gratuité, la transparence de ses lignes de codes et sa capacité à intégrer des documents interactifs, telle que les maquettes issues de NavVis IVION et d'eCorpus. Les éléments intégrés sur le site web permettent de révéler des aspects dissimulés ou invisibles du bâti ancien cachés par le bâti actuel ou pour des raisons de conservation. La création de ce site web a mis en évidence la faisabilité d'une médiation numérique interactive, ainsi que le caractère modulable de la plateforme, susceptible d'être adaptée à d'autres sites patrimoniaux et d'enrichir les pratiques de documentation et de médiation à distance.

Cependant, la mise en place d'une telle plateforme demande également de l'investissement en temps pour la conception nécessaire afin de produire des contenus interactifs avec une maîtrise de langages de codage (Markdown, JavaScript, HTML). L'appui ponctuel d'un collaborateur spécialisé a permis de surmonter ces contraintes de codage, confirmant que la création d'une telle plateforme est accessible, mais demande des compétences spécifiques et des ressources adaptées. Une fois finalisé, le site web peut être facilement mis en ligne et partagé auprès d'un large public.

Ce projet ouvre plusieurs pistes de développement intéressantes. Il serait pertinent d'évaluer le prototype auprès d'un public varié, afin de mesurer son efficacité en tant que dispositif de médiation, notamment en termes d'ergonomie, de compréhension et d'accessibilité. Par ailleurs, la qualité des relevés pourrait être encore améliorée grâce à des techniques complémentaires, telles que la photogrammétrie pour les détails fins, comme les peintures murales ou l'utilisation de drones pour les parties extérieures difficilement accessibles. Enfin, cette méthodologie pourrait être adaptée à d'autres sites patrimoniaux, élargissant ainsi son champ d'application et contribuant à la valorisation du patrimoine bâti.

Cette étude démontre le potentiel réel des technologies numériques pour rendre le patrimoine accessible, lisible et partageable, même en dehors de sa matérialité physique. Si les défis techniques restent nombreux, la voie est ouverte pour une médiation numérique immersive et adaptée aux enjeux de conservation actuels.

13 BIBLIOGRAPHIE

Articles, ouvrages et extraits d'ouvrages

Agisoft LLC. (2025). Metashape 2.2 Photogrammetry + Lidar. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.agisoft.com/pdf/metashape_presentation.pdf&ved=2ahUKEwi67dmAyJKPAxVWgf0HHY7CFCsQFnoECBoQAQ&usg=AOvVaw2x4rWk63UY6dRaoPmgRAID

Amormino, V. (2006). Le Centre wallon d'Archéologie du Bâti. Réaffectation des vestiges de l'ancien cloître de l'abbaye Saint-Jacques à Liège. *Archaeologia Mediaevalis*, 29, 18-20.

Askar, C., Scheider, A., & Sternberg, H. (2023). Evaluation of a State-of-the-Art Indoor Mobile Mapping System in a Complex Indoor Environment. *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 148(5), 300-309. <https://doi.org/10.12902/zfv-0445-2023>

Bagieu, C., & Macher, H. (2023). Numérisation 3D du patrimoine bâti : acquisition des données, nuages de points et livrables. Editions Le Moniteur.

Billen, R., Jonlet, B., Luczfalvy Jancsó, A., Neuville, R., Nys, G.-A., Poux, F., Van Ruymbeke, M., Piavaux, M., & Hallot, P. (2018). La transition numérique dans le domaine du patrimoine bâti : un retour d'expériences. In *Bulletin de la commission royale des monuments, sites et fouilles - Tome 30*, pp. 119-148. Commission royale des Monuments, Sites et Fouilles de la Région wallonne. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/228570>

Bolle C. & Léotard J.-M. (2014^a). L'archéologie des bâtiments à Liège et le centre d'archéologie du bâti. In : Bolle C., Coura G. & Léotard J.-M. (dir.), *L'archéologie des bâtiments en question, un outil pour les connaître, les conserver et les restaurer, actes du colloque international, Liège 10-11 novembre 2010, Namur (Études et Documents, Archéologie, 35)*, p. 291-315. https://www.academia.edu/37310830/E_D35_Archeobat_Bolle_et_al291_315

Bolle C., & Léotard J.-M. (2002). Les vestiges des bâtiments claustraux de l'abbaye de Saint-Jacques à Liège sauvés in extremis. *Bulletin de liaison Icomos Wallonie-Bruxelles*, 11, 1-2.

Bolle C., & Léotard J.-M. (2006). Liège/Liège : conservation des bâtiments claustraux de l'ancienne abbaye de Saint-Jacques. *Chronique de l'Archéologie Wallonne*, 13, 107-171.

Bolle C., & Léotard J.-M. (2012). Finalités et enjeux des relevés graphiques dans le cadre des études archéologiques des bâtiments. *Thema & Collecta*, 2, 62-71.

Bolle C., & Léotard J.-M. (2018). L'infirmierie médiévale des moines, un vestige des bâtiments claustraux. In Colman, P., Paquet, P., & Bierlaire, F. (dir.), *L'église Saint-Jacques à Liège*. Jambes (Namur), pp. 45. Belgium: AWaP.

Bolle C., & Léotard J.-M. (2014^b). Découvertes récentes d'édifices médiévaux au cœur de la ville de Liège. La lettre du Patrimoine, les nouvelles de l'archéologie n°34, Bureau de dépôt : Liège X, Edition SPW, 11. <https://agencewallonnedupatrimoine.be/wp-content/uploads/2018/09/lettredupatrimoine34.pdf>

Bolle C., Léotard J.-M. Coura G., Charlier J.-L. & Henrard D. (2014). Belgique/Liège/Liège. L'infirmierie de l'abbaye de Saint-Jacques. In : Bolle C., Coura G. & Léotard J.-M., (dir.), *L'archéologie des bâtiments en question, un outil pour les connaître, les conserver et les restaurer, actes du colloque international, Liège 10-11 novembre 2010*, Namur (Études et Documents, Archéologie, 35), pp. 366-369.

Bolle, C. & Vanden Eynde J.-L. (2022). Enseigner l'architecture du bâti au master inter-universitaire de spécialisation en conservation et en restauration du patrimoine culturel immobilier, site de La Paix-Dieu (Belgique). In Bully, S., Bizri, M., Sapin, C., & Henrion, F. (dir.). *Archéologie du bâti. Aujourd'hui et demain*. ARTEHIS Éditions, pp. 473-493. <https://doi.org/10.4000/books.artehis.25779>

Bolle, C., & Léotard, J.-M. (2008). Les pans-de-bois médiévaux de l'ancienne infirmierie de l'abbaye de Saint-Jacques à Liège. *Dossier de la Commission Royale des Monuments, Sites et Fouilles*, 12, 257-260

Bolle, C., & Léotard, J.-M. (2014). Contribution des recherches archéologiques à la connaissance de l'architecture civile liégeoise. In M. Dosogne (Dir.), *L'archéologie en Wallonie : Les Temps modernes et l'époque contemporaine. L'archéologie des conflits, des mondes urbain et rural* (Carnets du Patrimoine, 117, pp. 44-46). Namur.

Bolle, C., Charlier, J.-C., Coura, G., Henrard D., & Léotard, J.-M. (2008). L'infirmierie de l'abbaye de Saint-Jacques. Les dossiers de l'Institut du Patrimoine Wallon, 7, p.43-58.

Bolle, C., Charlier, J.-C., Coura, G., Henrard, D., & Léotard, J.-M. (2007). L'infirmierie de l'abbaye de Saint-Jacques à Liège. *Chronique de l'Archéologie Wallonne*, 14, 137-140.

Bolle, C., Coura, G., & Léotard, J.-M. (2003). Les vestiges des bâtiments claustraux de l'abbaye de Saint-Jacques à Liège (Lg.). *Archaeologia Mediaevalis*, 26, 93-95.

Bolle, C., Coura, G., & Léotard, J-M. (2004). Liège/Liège : les vestiges des bâtiments claustraux de l'ancienne abbaye Saint-Jacques. *Chronique de l'Archéologie Wallonne*, 12, 147-149.

Bolle, C., Coura, G., & Léotard, J-M. (2016). L'infirmerie des moines, dernier vestige des bâtiments conventuels. In Allart, D., & al. (dir.). *L'église Saint-Jacques à Liège Templum pulcherrimum: une histoire, un patrimoine*. Institut du Patrimoine wallon. (pp. 67-77)

Bruno, N., & Roncella, R. (2019). HBIM for Conservation: A New Proposal for Information Modeling. *Remote Sensing*, 11(15), 1751. <https://doi.org/10.3390/rs11151751>

Campi, M., Falcone, M., & Sabbatini, S. (2022). Towards continuous monitoring of architecture. Terrestrial laser scanning and mobile mapping system for the diagnostic phases of the cultural heritage. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, 121-127. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-121-2022>

Caspani, S., Brumana, R., Oreni, D., & Previtali, M. (2017). Virtual museums as digital storytellers for dissemination of built environment: Possible narratives and outlooks for appealing and rich encounters with the past. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2W5), 113–119. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-113-2017>

Charlier J-L. (2016). Traces héraldiques dans l'infirmerie des moines. In Allart, D., & al. (dir.). *L'église Saint-Jacques à Liège Templum pulcherrimum: une histoire, un patrimoine*. Institut du Patrimoine wallon, pp. 130-131.

Clark K. (2007). Informing Conservation, dans Eppiche., CHABBIA. (ed.), *Illustrated Examples Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles.

Cloet-Sanchez, A. M., & Schoetter-Nozarian, A. (2023, June). Vulgariser sa recherche par la bd pour la rendre plus accessible aux professionnels : le « passage en bulle » comme médiation. In *Colloque International Responsabilité du chercheur en éducation Enjeux de société et recherches en éducation et formation : mise en débat*.

Conférence Permanente du Développement Territorial [CPDT]. (2011). Thématiques sectorielles : Thématique « Patrimoine bâti », rapport final de la subvention 2010-2011. <https://cpdt.wallonie.be/wp-content/uploads/2023/06/Annexe-Thematiques-sectorielles-Patrimoine-bati.pdf>

Conseil International des Monuments et des Sites [ICOMOS]. (1994). The Venice Charter translated in French, *ICOMOS Scientific Journal*, 4, 121-124 https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/Venice_Charter_FR_2023.pdf

De Bideran, J. (2014). Du document patrimonial au monument virtuel : Les nouvelles mémoires du patrimoine. Les Cahiers de la SFSIC, N°10. <https://hal.science/hal-01399485/>

De la Torre, M. (2013). Values and Heritage Conservation. *Heritage & Society*, 6(2), 155–166. <https://doi.org/10.1179/2159032X13Z.000000000011>

Denoël, S. (2024). Découverte du Patrimoine. Guide facile à lire et à comprendre FALC. Brochure des journées du patrimoine. <https://www.journeesdupatrimoine.be/wp-content/uploads/2024/07/jp-2024-publication-falc.pdf>

Gharineiat, Z., Kurdi, F. T., Henny, K., Gray, H., Jamieson, A., & Reeves, N. (2024). Assessment of SLAM Scanner Accuracy for Outdoor and Indoor Surveying Tasks. <https://www.preprints.org/manuscript/202404.1484/v1#>

Gil, M., & Hallot, P. (2019, December). L'orfèvrerie à l'épreuve de la modélisation 3D-Valorisation, médiation et exploitation scientifique d'œuvres médiévales. In *Les rencontres du Consortium 3D SHS*.

Hallot, P., Lambert, M., & Jouan, P. (2021). Communication tools for inaccessible places of significance. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, 293-299. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-M-1-2021-293-2021>

Héno, R., & Chandelier, L. (2014). Numérisation 3D de bâtiments : cas des édifices remarquables. ISTE Group.

Henrard, D., & Van Der Sloot, P. (2007). Liège/Liège : fouilles des maisons sises place Emile Dupont, n^{os} 9 et 10. *Chronique de l'Archéologie Wallonne*, 14, 121-123.

Jouan, P.-A., & Hallot, P. (2023). VIRTUAL REPRESENTATIONS IN IMMERSIVE ENVIRONMENTS TO SUPPORT CULTURAL SIGNIFICANCE ASSESSMENT. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-M-2-2023, 773-781. doi:10.5194/isprs-archives-xxviii-m-2-2023-773-2023 <https://hdl.handle.net/2268/304759>

Jouan, P.-A., Sadzot, P., Laboury, D., & Hallot, P. (2021). EXPERIENCE AND ATMOSPHERE OF THE BUILT HERITAGE IN DIGITAL ENVIRONMENT. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-M (1-2021), 329-337. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-M-1-2021-329-2021>

Liu, J., Azhar, S., Willkens, D., & Li, B. (2023). Static Terrestrial Laser Scanning (TLS) for Heritage Building Information Modeling (HBIM): A Systematic Review. *Virtual Worlds*, 2(2), 90-114. <https://doi.org/10.3390/virtualworlds2020006>

Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Boehm, J. (2013). *Close-range photogrammetry and 3D imaging*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG. <https://doi.org/10.1515/9783110302783>

Martin-Moya, D., Bisson-Larrivée, A., Riel-Salvatore, J., Negrino, F., Kolhatkar, M., Brun, C., ... & Ribot, I. (2020). Apports de la documentation 3D par photogrammétrie pour l'archéologie et la bioarchéologie au Québec en contextes académique et contractuel. *Archéologiques*, 33, 81-98.

Nofal, E., Reffat, M., & Vande Moere, A. (2017). Phyigital Heritage: an Approach for Heritage Communication. In *Immersive Learning Research Network Conference* (pp. 220–229). Verlag der Technischen Universität Graz; Graz, Austria. <https://doi.org/10.3217/978-3-85125-530-0-36>

Nofal, E., Reffat, M., Boschloos, V., Hameeuw, H., & Vande Moere, A. (2018). The Role of tangible interaction to communicate tacit knowledge of built heritage. *Heritage*, 1(2), 416-436. <https://doi.org/10.3390/heritage1020028>

Organisation des Nations unies pour l'Éducation, la Science et la Culture [UNESCO]. (2011). Établir une proposition d'inscription au patrimoine mondial, Patrimoine Mondial : Manuel de référence. <https://whc.unesco.org/fr/etablir-une-proposition-d-inscription/>

Sammartano, G., & Spanò, A. (2018). Point clouds by SLAM-based mobile mapping systems: accuracy and geometric content validation in multisensor survey and stand-alone acquisition. *Applied Geomatics*, 10(4), 317-339. <https://doi.org/10.1007/s12518-018-0221-7>

Santana Quitero M. (2012). Considérations sur la documentation du patrimoine, *Therma & Collecta*, 2, 11-17.

Sites et Monuments. (2002, avril-juin). Actualités. *Bulletin de la Société Royale Le Vieux-Liège*, 312(10). [https://services.ub.uni-koeln.de/cgi-](https://services.ub.uni-koeln.de/cgi-bin/showfile.exe?CISOROOT=/belux&CISOPTR=733&CISOMODE=print)

[bin/showfile.exe?CISOROOT=/belux&CISOPTR=733&CISOMODE=print](https://services.ub.uni-koeln.de/cgi-bin/showfile.exe?CISOROOT=/belux&CISOPTR=733&CISOMODE=print)

Stoleru, A., & Jacquot, K. (2020). HBIM: une analyse de la littérature scientifique. In *SHS Web of Conferences* (Vol. 82, p. 02001). EDP Sciences.

Stylianidis, E. (2020). *Photogrammetric survey for the recording and documentation of historic buildings*. Cham, Switzerland: Springer.

Trachte, S., Romboux, A., Noël, O., Schreurs, A., Sosnowska, P., & Hallot, P. (2025, February). Projet URMIBALI : Comment les outils numériques de documentation du patrimoine peuvent renforcer la connaissance et le réemploi des matériaux constituant le bâti traditionnel ancien, dans une approche d'Urban Mining. In *Journée de la recherche de l'Unité de Recherche Art Archéologie et Patrimoine*.

Treleani, M. (2014). Le patrimoine en ligne a-t-il un sens ? E-dossiers de l'audiovisuel. <https://hal.univ-lille.fr/hal-01702626>

Trizio, I., Brusaporci, S., Luigini, A., Ruggieri, A., Basso, A., Maiezza, P., Tata, A., & Giannangeli, A. (2019). EXPERIENCING the INACCESSIBLE. A FRAMEWORK for VIRTUAL INTERPRETATION and VISUALIZATION of REMOTE, RISKY or RESTRICTED ACCESS HERITAGE PLACES. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2/W15), 1171– 1178. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-1171-2019>

Universita Degli Studi Di Ferrara. (2021). Inclusive Cultural Heritage in Europe through 3D semantic modelling. *CORDIS - Résultats de la recherche de l'UE*. <https://cordis.europa.eu/project/id/665220/fr>

Van Rymbeke, M., Carré, C., & Billen, R. (2012). L'existant et l'ayant existé. Documenter le patrimoine dans la diachronie. *Thema & Collecta*, 2, 43–51.

Verstraelen, N. (2014^a). Monitoring et conservation préventive à Liège sur les sites de l'archéoforum et du centre wallon d'archéologie du bâti (CWAB). In Bolle, C., Coura, G., & Léotard, J. M. (dir.). *L'archéologie des bâtiments en question : un outil pour les connaître, les conserver et les restaurer*. Institut du Patrimoine wallon, pp. 171 – 186.

Verstraelen, N. (2014^B). Belgique/Liège/Liège. Mesures conservatoires au centre wallon d'archéologie du bâti. In Bolle, C., Coura, G., & Léotard, J. M. (dir.). L'archéologie des bâtiments en question : un outil pour les connaître, les conserver et les restaurer. Institut du Patrimoine wallon, pp. 370 – 377.

Vomscheid, D. (2018). La valorisation et la médiatisation du patrimoine bâti par l'image numérique, la restitution des châteaux japonais. In 12ème colloque de la Société Française d'Etudes Japonaises, pp. 513-523. Editions Philippe Picquier. <https://hal.science/hal-02969663>

Vongsingthong, S., & Smachat, S. (2014). Internet of things : A Review of Applications and Technologies. In : Suranaree Journal of Science & Technology, Vol. 21 (4), 359-374. [10.14456/sjst.2014.38](https://doi.org/10.14456/sjst.2014.38)

Wang, Z. J., Munechika, D., Lee, S., & Chau, D. H. (2024, May). SuperNOVA: Design Strategies and Opportunities for Interactive Visualization in Computational Notebooks. In Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1-17. <https://doi.org/10.1145/3613905.3650848>

Texte législatif

Conclusions du Conseil européen du 10 mai 2012 sur la numérisation et l'accessibilité en ligne du matériel culturel et la conservation numérique (JO C 169, 15.6.2012, p. 5-8) https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:10_1

Déclaration universelle des droits de l'homme du 10 décembre 1948 ([résolution 217 A \(III\)](#)).

Décret remplaçant le Code wallon du Patrimoine et portant des dispositions diverses. (2023). Moniteur belge, 21 février 2024, p. 25650. <https://www.ejustice.just.fgov.be/eli/decret/2023/09/28/2024001483/justel>

Sites internet

Allplan. (s.d.). Qu'est-ce que le BIM ? Building Information Modeling. Allplan. Consulté le 25 mai 2025, à l'adresse <https://www.allplan.com/fr/bim/building-information-modeling-avec-allplan/?utm>

Billingsley, S. (2016, 23 juin). Hands on with PointCab, Part 2. [Billet de blog]. Consulté le 25 mai 2025, sur l'adresse <https://www.geoweekevents.com/blogs/hands-pointcab-part-2>

Boittiaux, I., & Guillaume, F. (2023, 16 février). Tour du monde des visites virtuelles les plus bluffantes. BeauxArts. Consulté le 14 mars 2024, sur l'adresse <https://www.beauxarts.com/vu/tour-du-monde-virtuel-des-musees-comme-si-vous-y-etiez/>

Bumbeishvili, D. (2021, 11 mai). Scans. Observable. Consulté le 31 mars 2025, sur l'adresse <https://observablehq.com/@bumbeishvili/scans>

Connaître la Wallonie, (s.d.). Expansion bourguignonne sous Charles le Téméraire (1467-1477). Wallonie.be. Consulté le 4 mai 2024, sur l'adresse <https://connaitrelawallonie.wallonie.be/fr/histoire-et-symboles/histoire/atlas-historique/expansion-bourguignonne-sous-charles-le-temeraire>

Eberhardt, S., & Appendino, F. (2022). Héritage(s) et patrimoine(s) bâtis. Cahiers ESPI2R. consulté le 21 mai 2024, sur l'adresse <https://www.cahiers-espi2r.fr/868>

Etat de l'environnement wallon. (2022). Coûts externes liés au transport de personnes et de marchandises. Édition SPW. Consulté sur le 24 mars 2024, sur l'adresse <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/TRANS%207.html>

Europa.eu. (2016, 03 août). Numériser et conserver en ligne le patrimoine culturel de l'Europe pour un accès universel. Europa.eu. Consulté le 4 mai 2024, sur l'adresse https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:10_1

Faculté de philosophie, arts et lettres [FIAL]. (2024, 6 décembre). Archéologie du bâti : à la découverte de l'église Saint-Jacques et de l'ancienne infirmerie à Liège. Consulté le 20 juillet 2025, sur l'adresse <https://www.uclouvain.be/fr/facultes/fial/news/archeologie-du-bati-a-la-decouverte-de-l-eglise-saint-jacques-a-liege>

Higgins S. (2020, 22 décembre). 6 façons NavVis post-traitement les logiciels offrent une qualité nuage de points. NavVis. Consulté le 28 octobre 2024, sur l'adresse <https://fr.navvis.com/blog/6-ways-navvis-post-processing-software-ensures-ultimate-point-cloud-quality#:~:text=Le%20traitement%20NavVis%20corrige%20ce,chaque%20objet%20sous%20plusieurs%20angles>

Higgins, S. (2021, 25 mai). 9 termes «scan-to-BIM» à connaître absolument. NavVis. Consulté le 17 avril 2025, sur l'adresse <https://fr.navvis.com/blog/9-scan-to-bim-terms-you-need-to-know>

Institut de statistique de l'Organisation des Nations unies pour l'Éducation, la Science et la Culture [UNESCO]. (2009). Patrimoine culturel. Consulté le 28 novembre 2024 à l'adresse <https://uis.unesco.org/fr/glossary-term/patrimoine-culturel>

Kosara, R., Horst, A., & Buffa, P. (2023, 2 octobre). Learning Observable: Cell modes, reactive Markdown, and HTML. Observablehq. Consulté le 24 mai 2025, sur l'adresse <https://observablehq.com/@observablehq/learning-observable-cell-modes-reactive-markdown-and-html>

Lambert, N. (2024, 14 février). Observable pour les géographes. Observablehq. Consulté le 24 mai 2025, sur l'adresse <https://observablehq.com/@neocartocnrs/tuto> (consulté le 28 mai 2024)

Le Couturier, P. (s.d.). L'origine et l'évolution géographique de Liège. *Chokier*. Consulté le 19 mars 2025 à l'adresse <http://www.chokier.com/FILES/STJACQUES/Abbes.html>

NavVis Knowledge base. (2024, 11 mars). Unfolding and Switching on. NavVis. Consulté le 28 octobre 2024, sur l'adresse <https://knowledge.navvis.com/docs/unfolding-and-switching-on>

NavVis Knowledge base. (2024, 16 avril). Preparing for scanning. NavVis. Consulté le 28 octobre 2024, sur l'adresse <https://knowledge.navvis.com/docs/setup-on-site> (

NavVis Knowledge base. (2024, 18 mars). Calibrating the accelerometer <https://knowledge.navvis.com/v1/docs/calibrating-the-accelerometer-1> (consulté le 28 octobre 2024)

NavVis Knowledge base. (2024, 24 avril). Stating the NavVis VLX. NavVis. Consulté le 28 octobre 2024, sur l'adresse <https://knowledge.navvis.com/docs/starting-the-navvis-vlx>

NavVis Knowledge base. (2024, 24 avril). Dashboard. NavVis. Consulté le 28 octobre 2024, sur l'adresse <https://knowledge.navvis.com/docs/dashboard>

NavVis Knowledge base. (2024, 29 janvier). Checking the fit. NavVis. Consulté le 28 octobre 2024, sur l'adresse <https://knowledge.navvis.com/docs/checking-the-fit>

NavVis. (2024, septembre). Fiche de données NavVis VLX2. Consulté le 8 avril 2025, sur l'adresse <https://fr.navvis.com/resources/specifications/navvis-vlx-2>

NavVis. (2025). Le guide de référence du scan-to-BIM. Consulté le 4 avril 2024, à l'adresse <https://fr.navvis.com/technology/scan-to-bim>

NavVis. (2025). NavVis Knowledge base. Consulté le 28 octobre 2024, sur l'adresse <https://knowledge.navvis.com/>

Ottenheimer, A. (2022, 10 octobre). CREER VOTRE VISUALISATION DE DONNEES V2. Obsrvablehq. Consulté le 24 mai 2025, sur l'adresse <https://observablehq.com/@aotten/creer-votre-visualisation-de-donnees>

Reisinger, S. (2021, 22 avril). Annonce NavVis IVION Core : Ajouter de la valeur aux bâtiments et aux actifs. NavVis. Consulté le 28 février 2025, sur l'adresse <https://fr.navvis.com/blog/announcing-navvis-ivion-core>

Warzée C. (2022, 26 juillet). L'église Saint-Jacques-le-mineur et ses alentours. Histoire de Liège. Consulté le 30 avril 2024 sur l'adresse <https://histoiresdeliege.wordpress.com/2022/07/26/leglise-saint-jacques-le-mineur-et-ses-alentours/>

14 TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Les différents types de patrimoine, (Denoël, 2024).....	6
Figure 2 : Signalétique d'un bien classé de Wallonie, place Emile Dupont n°9 et 10 https://qrwallonie.be/LIEGE074 . Photographie personnelle: © M., Bauvir (Le 17 octobre 2024).	9
Figure 3 : Classification des systèmes d'acquisition lasergrammétrie. Sur base du schéma de H.Macher.	14
Figure 4 : Mise en place des différentes stations. Source NavVis. (2025). Le guide définitif de SLAM de cartographie mobile. Qu'est-ce que la localisation et cartographie simultanée (SLAM)? Consulté le 3 mars 2025, à l'adresse https://fr.navvis.com/technology/slam	15
Figure 5 : Comparaison des méthodes de mesure selon deux critères : la taille de l'objet d'étude et la précision de la mesure. Source (Bagieu & Macher, 2023).	15
Figure 6 : Scanner laser terrestre de pointe : (a) FARO Focus Premium ; (b) Leica BLK360 ; (c) Trimble X7 Sources (Liu et al., 2023).	16
Figure 7 : Principe de circulation avec un système SLAM. Source NavVis. (2025). Le guide définitif de SLAM de cartographie mobile. Qu'est-ce que la localisation et cartographie simultanée (SLAM)? Consulté le 3 mars 2025, à l'adresse https://fr.navvis.com/technology/slam	18
Figure 8 : Les différents Scanners 3D SLAM. Source Cherdo. (2020). Scanners 3D dynamiques (SLAM) et cartographie mobile : guide complet. Consulté le 3 mars 2025, à l'adresse https://www.aniwaa.com/fr/guide-achat/scanners-3d/scanners-3d-slam-cartographie-mobile-interieure/	19
Figure 9 : Comparaison de rugosité de la statue en marbre entre TLS (en haut) et NavVis VLX (en bas). L'analyse a été réalisée en utilisant CC (sphère $r = 0,025m$) (Campi et al., 2022).....	21
Figure 10 : Relevé d'un escalier en haut avec un TLS et en bas avec un NavVis VLX (Askar et al., 2023).	22
Figure 11 : Vision humaine pour l'obtention d'une image en trois dimensions. Source Wikimedia Commons. (2020). Fichier : Principe optique de la vision stéréoscopique d'un objet tridimensionnel.png Consulté le 4 avril 2025, à l'adresse https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Principe_optique_de_la_vision_st%C3%A9r%C3%A9oscopique_d%27un_objet_tridimensionnel.png	23
Figure 12 : « Modèle de patrimoine phigital, cartographié selon deux caractéristiques : l'accessibilité physique de l'information et le niveau de localisation de la manière dont cette information est communiquée » (Nofal et al., 2007).	26
Figure 13 : Maquette Virtual Leodium project. Liège en 1730. G-Ruhl. Source DOnum Dépôt d'objets . (s.d.). Plan-relief de la noble Cité de Liège en 1730. Consulté le 5 mai 2025, à l'adresse https://hdl.handle.net/2268.1/13301	28
Figure 14: Maquette « le plan-relief de la noble cité de Liège en 1730 ». G. Ruhl. Source ethesaurus.uliege.be (s.d.) le plan-relief de la noble Cité de Liège en 1730. Consulté le 5 mai 2025, à l'adresse https://ethesaurus.uliege.be/ui/scenes/Ruhl/view?lang=FR	28
Figure 15 : La plateforme NavVis IVION « les Maisons sises n°9 et 10», à gauche, une vue de	

l'ensemble des maisons en nuage de points : à droite, une vue d'une pièce en vue 360°. Source uliege.iv.navvis.com (2025). URMIBALI_Liege. Consulté le 5 mai 2025, à l'adresse https://uliege.iv.navvis.com/?image=954821739186636	29
Figure 16: Plateforme MPEmbed et Matterport « la Maison d'Erasmus » à gauche, une vue de l'ensemble des pièces en nuage de points ; à droite vue d'une pièce en vue 360°. Source Scan My Word. (2025). Het Erasmushuis- La maison d'Erasmus. Consulté le 7 juin 2025, à l'adresse https://www.scanmyworld.com/nl/virtuele-scan-tourisme-training	30
Figure 17: Notebook sur Observable ;	31
Figure 18 : Plateforme web du château de Versailles, visualisation virtuelle des modélisations 3D. Source Château de Versailles. (s.d.). Versailles en 3D. Consulté le 7 juin 2025, à l'adresse https://www.chateauversailles.fr/decouvrir/ressources/versailles-3d-0#appropriiez-vous-les-lieux-et-les-uvres	32
Figure 19 : Description du NavVis VLX deuxième génération dépliée. Annoté par M. Bauvir à partir de la source NavVis Knowledge Base. (2025). Localisation des pièces de votre NavVis VLX. Consulté le 8 avril 2025, à l'adresse https://knowledge.navvis.com/docs/locating-the-parts-of-your-navvis-vlx et d'image Source Géomatching (2025). NavVis VLX2. Consulté le 8 avril 2025, à l'adresse https://geo-matching.com/products/navvis-vlx-2	39
Figure 20 : NavVis VLX 2ème génération dans sa boîte de transport et annoté sur base de la source NavVis knowledge base (2025). Introduction. Consulté le 8 avril 2025, à l'adresse https://knowledge.navvis.com/docs/hardware-setup-instructions . Photographie personnel: © M, Bauvir (Le 22 avril 2024).	39
Figure 21 : Mise en place de la ceinture et du NavVis. Source NavVis Knowledge Base. (2025). Vérification de l'ajustement. Consulté le 8 avril 2025, à l'adresse https://knowledge.navvis.com/docs/checking-the-fit	40
Figure 22 : Détails et explications de l'interface utilisateur du NavVis. Source NavVis Knowledge Base. (2025). Démarrage du NavVis VLX. Consulté le 8 avril 2025, à l'adresse https://knowledge.navvis.com/docs/starting-the-navvis-vlx	41
Figure 23 : Façades à rue des maisons sises place Emile Dupont n°9 et 10. Photographie personnelle : © M. Bauvir (Le 17 octobre 2024)	48
Figure 24 : Façades arrière des maisons (photographie : Philippe Géron © Liège, Archives de l'État (AEL) in situ 2002) (source Bolle, Coura & Léotard, 2016).	48
Figure 25 : « Implantation de l'infirmerie des moines étudiée au sein du complexe abbatial au XVIème, reportée sur le plan cadastral primitif de 1827. » Infographie : Olivier GILGEAN © Liège, Archives de l'Etat (AEL) SPW. Source (Bolle, Coura & Léotard, 2016).	49
Figure 26 : « Plan des bâtiments n° 9 et 10 de la place Emile Dupont. En gris clair : positionnement des sondages ; en gris foncé : tracé du bief sous l'édifice ». Source (Henrard & Van Der Sloot, 2007).	50
Figure 27 : « Plan reconstitué du rez-de-chaussée de l'infirmerie (au XIVème siècle) » Infographie : Anne Mélon © Liège, Archives de l'État (AEL) SPW. Source (Bolle, Coura & Léotard, 2016).	50

Figure 28 : « Relevé du pignon oriental et reconstitution du profil de l'oratoire ».	51
Figure 29 : Partie restante de la Façade septentrionale.	51
Figure 30: « Modélisation 3D de l'édifice au XIV ^{ème} siècle » (caméras au sud-est pour la photo de gauche et au sud-ouest pour celle de droite) Infographie : O. Gilgean, © SPW- DG04. (Source Bolle et al, 2014).	52
Figure 31 : Vers « l'oratoire ». Photographie personnelle : © M. Bauvir (le 22 avril 2024).	52
Figure 32 : « Recherche du tracé régulateur sur l'essai de reconstitution du plan du rez-de-chaussée au 14 ^e s. Seuls les sommiers localisés dans la zone orientale échappent à l'ordre établi, probablement en raison de la présence de l'oratoire, hérité d'une phase antérieure ». Infographie : A. Mélon et J.-F. Lemaire, © Liège, Archives de l'État (AEL) SPW-DGO4. Source (Bolle & Léotard, 2014)	53
Figure 33 : « Fleurs en bois décorant la ferme orientale de la charpente lambrissée ». © SPW. DG04 Source (Bolle, Coura & Léotard, 2016).	54
Figure 34: « Modélisation 3D de la structure de l'édifice au XIV ^{ème} siècle (caméra sise au nord-est) » Infographie : O. Gilgean, © SPW- DG04. Source (Bolle et al., 2014).	54
Figure 35 : « Plan reconstitué du premier étage de l'infirmerie (au XIV ^{ème} siècle) reporté sur le plan de l'édifice actuel ». Infographie : Anne Mélon © SPW. Source (Bolle, Coura & Léotard, 2016).	55
Figure 36: « Planche de la suite de la parabole des Noces royales, Dirk Volckertz d'après Maarten Van Heemskerck, éditée par Hieronymus Cock, 1558-1559 ». Encadré rouge : fragment découvert, voir figure ci-contre. Source Meisterdrucke. (n.d.). Puntition de l'homme sans habit de noces (Parabole d'un festin de noces MeisterDrucke Consulté le 2 février 2025, à l'adresse https://www.meisterdrucke.fr/fine-art-prints/Dirck-Volckertsz.-Coornhert/1365942/Puntition-de-l'homme-sans-habit-de-noces-(Parabole-d'un-festin-de-noces).html	57
Figure 37 : « Fragment de la peinture murale en grisaille, seconde moitié du XVI ^{ème} siècle (découverte au rez-de-chaussée de la maison sise au n°10 de la place Emile-Dupont ». Source (Bolle et al., 2014).	57
Figure 38 : « Reconstitution des décorations du XVI ^{ème} siècle mise à jour au rez-de-chaussée et au premier étage du n°10 actuel ». Dessin et traitement graphique O. Gilgean, Serv. Archéologie, Dir. Liège I. (Source Bolle, Coura & Léotard, 2004).	57
Figure 39 : Reconstitution du blason relevé au n°10 des Armoiries de la famille Rave. Source (Charlier, 2016).	58
Figure 40: : Peinture murale en grisaille d'un ange. Source (Bolle, Coura et Léotard, 2016).	58
Figure 41 : « Étude du notaire abritant les peintures murales attribuées à l'école de Lambert Lombard » Cercle rouge : fragment de la peinture murale, voir figure 37, page 56. © SPW – DG04. Source (Verstraelen, 2014 ^b).	58
Figure 42 : « Recherche du tracé régulateur de la zone orientale de la façade sud, remaniée après la sécularisation (1785). » A. Mélon et J.-F. Lemaire, © SPW-DGO4. Source (Bolle & Léotard, 2014).	60

Figure 43 : « Coupe projection des niveaux de circulation à l'échelle du site ». Source (Henrard & Van Der Sloot, 2007).....	60
Figure 44 : Façade médiévale avec « baie du XIVème siècle ajourant la façade nord primitive au premier étage » dissimulée par l'extension pour créer une salle de bain dans le bâtiment n°9. Photographie personnelle : © M. Bauvir (le 22 avril 2024).....	61
Figure 45 : À gauche : Siège actuel de l'évêché (2017) et à droite : Bâtiment au numéro 58 du Mont Saint-Martin. (2023). Source Photos de Google Maps.	63
Figure 46: Le "Salon Bleu" programme décoratif de la fin du XVIIIème siècle. Photographie C, Bolle. (source Bolle & Vanden Eynde, 2022).	65
Figure 47 : Le "théâtre" vu du mur de scène fin XIXème et début XXème siècle. Photographie C, Bolle. (source Bolle & Vanden Eynde, 2022).	65
Figure 48 : Carte d'IVION comprenant les différents modes de vue, des maisons n°9 et 10, place Emile Dupont. Source uliege.iv.navvis.com. (2025). URMIBALI_Liege. Consulté le 4 octobre 2024, à l'adresse https://uliege.iv.navvis.com/?image=954821739186636	67
Figure 49 : Présentation du tableau de bord pendant l'acquisition de données. Projet URMIBALI: Emile-Dupont, n°9 et 10 au premier étage. Photographie personnelle: M. Bauvir (le 22 avril 2024).	70
Figure 50: Téléchargement des quatre ensembles de données du relevé effectué par A. Schreurs et M. Bauvir le 30 janvier 2025 sur la plateforme NavVis IVON.....	73
Figure 51: Tâche de traitement reprenant les deux relevés A. Schreurs et L. Moray de 2024 et A. Schreurs et M. Bauvir de 2025 sur la plateforme NavVis IVION.	74
Figure 52: La configuration des paramètres. Source NavVis Knowledge Base (2025). Création d'une tâche de traitement. Consulté le 10 février 2025, à l'adresse https://knowledge.navvis.com/docs/processing-tasks-1	75
Figure 53: les quatre ensembles de données traitées sur le Cloud de la plateforme NavVis IVION du relevé A. Schreurs et M. Bauvir de 2025.	75
Figure 54 : Alignement des ensembles de données sur la plateforme NavVis IVION. ©M. Bauvir	76
Figure 55 : Création d'un modèle de site des maisons sises n° 9 et 10 sur la plateforme NavVis IVION. ©M. Bauvir.....	77
Figure 56 : Nettoyages du nuage de points sur la plateforme NavVis IVION. ©M. Bauvir	78
Figure 57 : Création d'un point d'intérêt sur la plateforme NavVis IVION. ©M. Bauvir	80
Figure 58 : À gauche : Ajout et modification de groupe de catégories sur la plateforme NavVis IVION. À droite : Ajout ou modification de catégories. ©M. Bauvir.....	80
Figure 59 : À gauche, photographie de Focant (SPW- DG04) ; au milieu, capture d'écran en vue panoramique de la plateforme NavVis IVION provenant du relevé de A. Schreurs et M. Bauvir de 2025, effectué avec le NavVis VLX de deuxième génération ; à droite, visualisation du même relevé en mode nuage de points.	81
Figure 60 : Capture d'écran des cartouches sur la plateforme d'IVION issus du relevé NavVis VLX2 effectué par A. Schreurs et M. Bauvir de 2025; en haut visualisation en mode	

panoramique : en bas en mode nuage de points.	82
Figure 61: Capture d'écran du « salon bleu » (en haut) et de la salle « Théâtre » (en bas) relever par A. Schreurs et M. Bauvir de 2025 sur la plateforme IVION, issues du relevé NavVis VLX de deuxième génération ; à gauche, visualisation en mode panoramique ; à droite, en mode nuage de points.	82
Figure 62: Vue de la façade septentrionale exportée de la plateforme NavVis IVION du relevé de A. Schreurs, L. Moray de 2024 et A. Schreurs et M. Bauvir de 2025 puis générée sur PointCab ©M. Bauvir.	83
Figure 63: Fichier exporté de la plateforme NavVis IVION du relevé de A. Schreurs et L. Moray de 2024 généré sur PointCab. À gauche, vue des façades côté rue ; à droite, vue des façades côté jardin. ©M. Bauvir.....	83
Figure 64 : Vue d'une pièce de la cave relevée par A. Schreurs et M. Bauvir en 2025 sur la plateforme NavVis IVION ; à gauche visualisation en mode panoramique ; à droite en mode nuage de points.	84
Figure 65: Création de documents 2D dans la plateforme PointCab sur base du fichier de la plateforme NavVis IVION exporté en format e57. ©M. Bauvir	90
Figure 66: Coupe vers l'est au niveau de la ferme XVI redessinée à partir du document O. Noël sur AutoCAD (à gauche) sur base de l'infographie d'A.Mélon Source (Bolle & Léotard, 2014) (au milieu) et la coupe obtenue sur PointCab (à droite). ©M. Bauvir	91
Figure 67 Façade septentrionale redessinée sur AutoCAD sur base du document PointCab.	92
Figure 68: Façades à rue redessinées sur AutoCAD (à gauche), sur base de l'orthophoto (au centre) et de l'élévation de PointCab (à droite). ©M. Bauvir	92
Figure 69: Création de différentes planches de bande dessinée à l'aide de la plateforme Sora IA.....	93
Figure 70: À gauche : Autoportrait de Lambert Lombard.	94
Figure 71: À gauche : Dessin de la collection artistique ULg Église Saint-Jacques. Source. (Warzée. 2022). Histoires de liège Consulté le 1 juillet 2025, à l'adresse https://histoiresdeliege.wordpress.com/2022/07/26/leglise-saint-jacques-le-mineur-et-ses-alentours/ à droite : Image recolorisée par l'IA à l'aide de Sora.	94
Figure 72 : Superposition des calques et rendu de la coupe est au niveau de la ferme n°XVI sur le logiciel Affinity ©M. Bauvir.....	95
Figure 73 : Superposition des documents issus de la littérature de la façade méridionale. Infographistes A. Mélon et J-F. Lémaire (source Bolle & Léotard, 2014), sur Affinity. ©M. Bauvir	96
Figure 74: Assemblage de la bande dessinée générée par Sora sur Affinity. ©M. Bauvir	96
Figure 75: À gauche : croquis de la façade méridionale. À droite : croquis de la charpente traditionnel au troisième étage de la maison n°9. ©M. Bauvir	97
Figure 76: recouvrements des différentes prises de vue de la photogrammétrie. ©M. Bauvir	98
Figure 77: Model - wireframe sur la plateforme Agisoft Metashape. ©M. Bauvir.....	98

Figure 78 : Modélisation du contexte de la place Emile-Dupont dans Blender ©M. Bauvir...	99
Figure 80 : Maquette du contexte de la place Emile-Dupont sur la plateforme eCorpus ©M. Bauvir	100
Figure 80 : Maquette de Ruhl de 1730 de la ville de Liège, numérisée sur la plateforme eCorpus coupée en deux et annotée par M. Bauvir.....	100
Figure 81: Lien HTLM de la maquette de la place Emile-Dupont sur la plateforme eCorpus ©M. Bauvir	101
Figure 82: Création d'un notebook sur la plateforme Observable ©Bauvir M.....	103
Figure 83: Modification du style en langage Markdown sur la plateforme Observable ©M. Bauvir.	104
Figure 84: Code HTLM de la Table des matières sur Observable proposé par R. André	104
Figure 85: Modification du code HTLM de la Table des matières de R. André sur la plateforme Observable. © M. Bauvir.....	106
Figure 86: Liens HTLM des maquettes sur la plateforme eCorpus mit sur la plateforme Observable	107
Figure 87: Ligne de code reprise de la plateforme eCorpus puis modifiée pour mettre le lien HTLM de la maquette IVION sur la plateforme Observable ©M. Bauvir	108
Figure 88: Carte interactive prédéfinie sur Observable.	109
Figure 89 : Carte interactive prédéfinie sur Observable puis modifiée pour localiser les maisons sises n°9 et 10 place Emile-Dupont ©M. Bauvir.	110
Figure 90: Image de la modélisation de la charpente à typologie mixte de l'infographiste O. Gilgean, SPW- DG04. Source (Bolle et al. 2014). Annotée avec le langage HTLM © M. Bauvir.	111
Figure 91 : Codes "Checkboxes" et "Range" proposés sur la plateforme Observable en langage JAVASCRIPT.	113
Figure 92: Codes des "Checkboxes" et "Range" sur la plateforme Observable modifiés par R. André.....	113
Figure 93: Code en langage JAVASCRIPT pour importer les images en HTLM sur la plateforme Observable conçu par R. André.	115
Figure 94 : A gauche : Création de lien HTLM sur le site web IMGUR. À droite : surligné en vert le lien HTLM de l'image. © M. Bauvir.	116

15 ANNEXES

15.1 Annexe 1 : Storyboard

En gris sont les annotations pour la réalisation du site web et des fichiers

Titre principal: **L'ancienne infirmerie des moines de l'abbaye de Saint-Jacques à Liège**

Table des matières

- Un trésor caché
 - Une trace oubliée resurgit à la place Emile Dupont
 - Jalon historique
- Les découvertes sur les maisons sises
 - Les structures antérieures au XIVème siècle
 - L'édifice du XIVème siècle
 - L'enveloppe
 - La charpente à typologie mixte
 - Les peintures
- Visite virtuelle
 - La collecte de données
- Bibliographie

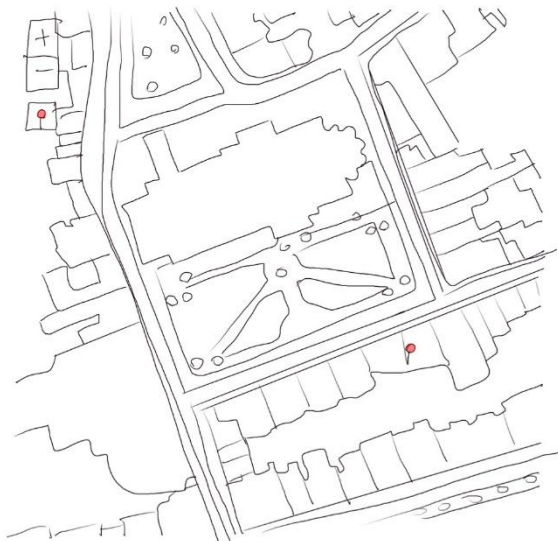
Chapitre 1: un trésor caché

La ville de Liège, située dans l'est de la Belgique, en Wallonie, s'étend dans la vallée de la Meuse. Elle se distingue par son riche passé politique et religieux, ayant été autrefois la capitale de la principauté de Liège. La ville s'est développée autour d'importants centres religieux, comme les abbayes.

Au fil des siècles, de nombreuses traces de son histoire ont disparu, mais certaines réapparaissent peu à peu, témoignant de l'importance de cette ville. Aujourd'hui, elle compte plus de 448 bâtiments classés, remarquables par leur architecture et par la richesse de leur histoire.

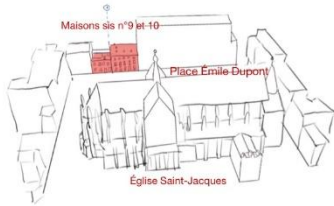
Parmi tous ces vestiges, un patrimoine exceptionnel refait surface. Cet ancien vestige médiéval, situé place Émile Dupont et caché derrière des façades à rue.

Titre2 : **Une trace oubliée resurgit à la place Émile Dupont**



A la découverte des maisons sises n°9 et 10

Maquette Blender du contexte actuelle mit sur la plate-forme E-thesaurus et annoté et illustré



Annotations sur E.thesaurus

Zone de texte (résumé) sur observable plot:

En 2001, ces deux maisons étaient destinées à être démolies pour laisser place à un nouvel immeuble. Leur sort semblait scellé, mais suite à des fouilles archéologiques, il s'avère que derrière ces deux façades à rue se cache le dernier bâtiment conventuel épargné de l'abbaye de Saint-Jacques. Grâce à différentes découvertes, le permis d'urbanisation est annulé et l'édifice a pu être conservé, ainsi que de bénéficier d'une procédure de classement en 2003.

Image insère sur observable plot:



Maisons sises n°9 et 10

En août 2001, un permis de démolition est accordé pour les deux maisons situées place Emile Dupont, aux numéros 9 et 10, dans le but d'y construire un nouvel immeuble à appartements.

Cependant, en janvier 2002, des études archéologiques sont lancées par le Service de l'archéologie (Direction de Liège I, Ministère de la Région wallonne), pour une durée de six mois.

Ces recherches sont rendues nécessaires en raison de l'emplacement des maisons situées dans l'emprise de l'ancienne abbaye bénédictine de Saint-Jacques. Elles n'avaient toutefois pas pour objectif de modifier leur destinée initiale.

Cette étude révèle alors un vestige médiéval caché derrière les façades à rue. Elle montre un intérêt pour l'état de conservation des structures, permettant de retracer l'évolution du bâtiment du XIVème au XXème siècle. Une découverte exceptionnelle est également faite, il s'agit d'une peinture datant du XVIème siècle.

Par ailleurs, il s'agit probablement du seul vestige conservé en élévation de l'un des ensembles claustraux les plus puissants de Liège au Moyen Age.

En septembre 2002, à la suite de toutes ces découvertes, le ministre Michel Daerden, en charge du Patrimoine à l'époque, annule le permis d'urbanisme et lance une procédure de classement, finalisée le 27 mars 2003.

Cette décision est suivie d'un arrêté d'expropriation le 24 avril 2003, exécuté le 28 octobre 2004.

Finalement, ce bien est confié à l'Institut du patrimoine wallon, avec pour objectif d'y installer le Centre wallon de l'archéologie du bâti. Il est ainsi consacré à la recherche, à la formation et à l'étude continue des structures anciennes. (Bolle & Léotard, 2006; Bolle et al., 2008).

Zone de texte sur E.thesaurus

Arrêté ministériel du 27 mars 2003

MONITEUR BELGE – ORFÈVRE – Nr. 2 – BELGISCH STAATSBLAAD

17823

MINISTÈRE DE LA RÉGION WALLONNE

[C = 2003/2500]

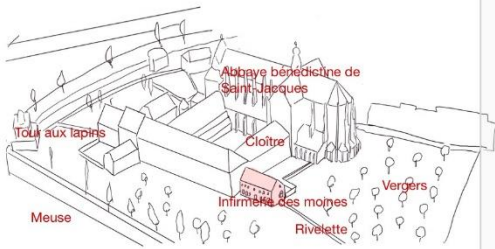
Patrimoine de patrimoine

LIÈGE. — Un arrêté ministériel du 27 mars 2003 classe notamment la totalité des immeubles de place Emile Dupont 9 et 10 à Liège, conformément aux dispositions des articles 196 à 204 et 205 à 207 du Code wallon de l'Aménagement du territoire, de l'Histoire et du Patrimoine.

Titre 2: Jalon historique

Titre 3: Retour en 1730 avec la maquette de Ruhl

Pour mieux situer cette découverte et son environnement d'autrefois, des annotations ont été ajoutées sur une maquette historique de 1730, qui offre un aperçu de la ville de Liège avant la révolution industrielle. Elle a été conçue entre 1900 et 1910 par Gustave Ruhl, cette maquette a ensuite été numérisée, dans le cadre du projet Virtual Leodium (Van Rymbeke et al., 2012).



Annotations sur E.thesaurus

Zone de texte (résumé) sur observable plot:

L'Infirmerie monastique médiévale

L'infirmerie des Moines

Cet édifice repose sur un sol sédimentaire, à l'emplacement d'un ancien canal de dérivation des eaux de la Meuse (henard et Van der Sloot, 2007). Elle est située à l'écart des autres bâtiments monastiques, près du cloître et est installée au sud de l'abbatiale de Saint-Jacques (Bolle, Coura et Léotard, 2016). Cet emplacement permettait d'éloigner les moines incapables de respecter les règles, mais aussi de faire référence à l'univers cistercien et bénédictin (Bolle et al., 2008).

Le soin accordé dans sa conception, réalisation et sa décoration, montre un lien entre l'architecture et la spiritualité du lieu (Bolle et al., 2008). Le coutumier de Saint Jacques précise que l'infirmerie jouait un rôle spirituel: elle célébrait la liturgie, permettait aux malades de communier et de se confesser (Bolle, Coura et Léotard, 2016).

Au XVIème siècle, un autel est installé dans l'infirmerie. Il est dédié à saint Jean-Baptiste, saint Job, saint Antoine et saint Sébastien. A cette même époque, la partie occidentale est modifiée. Ces transformations pourraient s'expliquer par des évolutions des pratiques médiévales, des mentalités, ou encore par un changement de fonction lié à l'actuelle maison n°10 (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

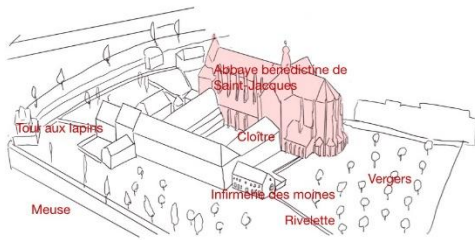
Actuellement, deux pièces principales ont été identifiées, il s'agit de l'oratoire, situé au rez-de-chaussée, et la salle des malades aménagée à l'étage dans une salle lambrissée (Bolle et al., 2008).

Zone de texte sur E.thesaurus

Maquette de Ruhl du contexte de 1730 mit sur la plate-forme E-thesaurus et annoté et illustré

Titre3: Retour en 1730 avec la maquette de Rulh

Maquette de Rulh du contexte de 1730 mit sur la plate-forme E-thesaurus et annoté et illustré



Annotations sur E.thesaurus

Abbaye bénédictine de Saint-Jacques

En 1015 le prince Evêque Baldéric II (1008-1018) veut fonder l'abbaye bénédictine de Saint-Jacques. Elle était destinée à servir de lieu de prière et de pénitence après défaite de la bataille de Hoegaarden. Elle subit plusieurs interruptions dans son développement et n'est qu'achève en 1052 (Warzee,2022). Au fil des siècles, l'église connaît plusieurs phases de transformations. Notamment dans le courant du XVIème, avec des travaux importants, qui touche à la reconstruction de la nef, avec une voûte en fillet donnant un caractère gothique à l'église. Et d'un portail de style Renaissance attribué à l'architecte Lambert Lombard (Warzee,2022). En 1785, l'église abbatiale devient en collégiale, puis se transforme paroissiale. (Boile et al., 2008)

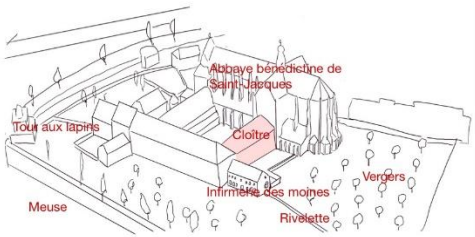


Prince Evêque Baldéric II



Titre 2: Retour en 1730 avec la maquette de Rulh

Maquette de Rulh du contexte de 1730 mit sur la plate-forme E-thesaurus et annoté et illustré



Annotations sur E.thesaurus

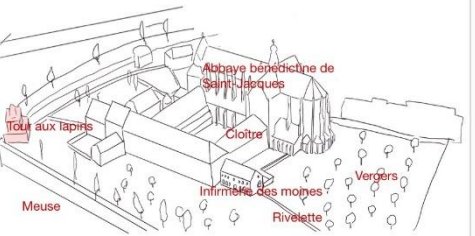
Le cloître

Fonction du cloître

En 1873 le cloître est détruit pour la création d'un parc

Titre 2: Retour en 1730 avec la maquette de Rulh

Maquette de Rulh du contexte de 1730 mit sur la plate-forme E-thesaurus et annoté et illustré



Annotations sur E.thesaurus

Tour aux lapins

La Tour aux Lapins était une structure défensive située à l'angle des actuels boulevards d'Avroy et Piercot. Elle faisait partie des fortifications du quartier d'Avroy. Placée à la pointe méridionale de l'île, elle était formée par les deux bras de la Meuse (Urix, s.d.).

Son nom viendrait du fait qu'elle aurait servi de refuge aux lapins élevés par les moines de l'abbaye bénédictine de Saint-Jacques (Warzee, 2016).

La tour jouait également un rôle dans la gestion des eaux : une ouverture dans sa structure permettait de dévier une partie du débit de la Meuse vers un petit chenal appelé Rivelette (Urix, s.d.).

Avec le temps, la Tour aux Lapins a disparu. Toutefois, des vestiges ont été mis au jour lors de travaux en 1962, notamment une voûte couvrant la Rivelette (Urix, s.d.).



Dessin de 1740 montrant le bras de la Meuse et les fortifications de Liège



Tour aux lapins

Zone de texte sur observable plot:

Dans l'histoire de la ville de Liège, le patrimoine bâti médiéval est resté longtemps méconnu croyant qu'une grande partie avait disparu suite à différents événements

Bolle and al. (2008). Les dossiers se l'I.P.W 7

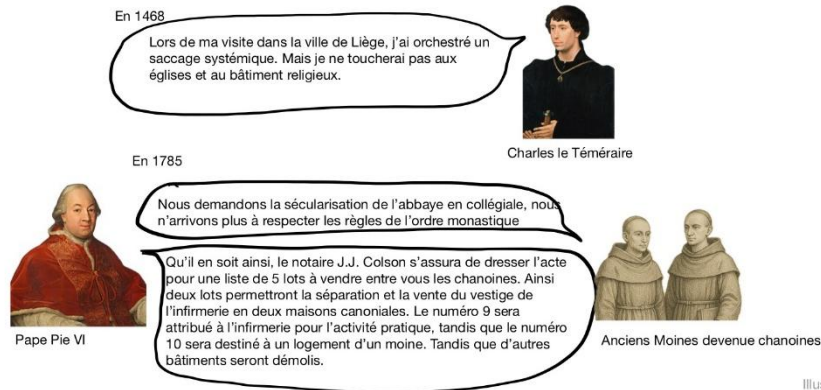


Illustration des différents événements en style BD

Titre 2: les nouvelles limites cadastral du XIXème siècle

Plan de l'implantation de l'infirmierie des moines au sein du complexe abbatial au XVI siècle reporté sur le plan cadastral primitif du 1827

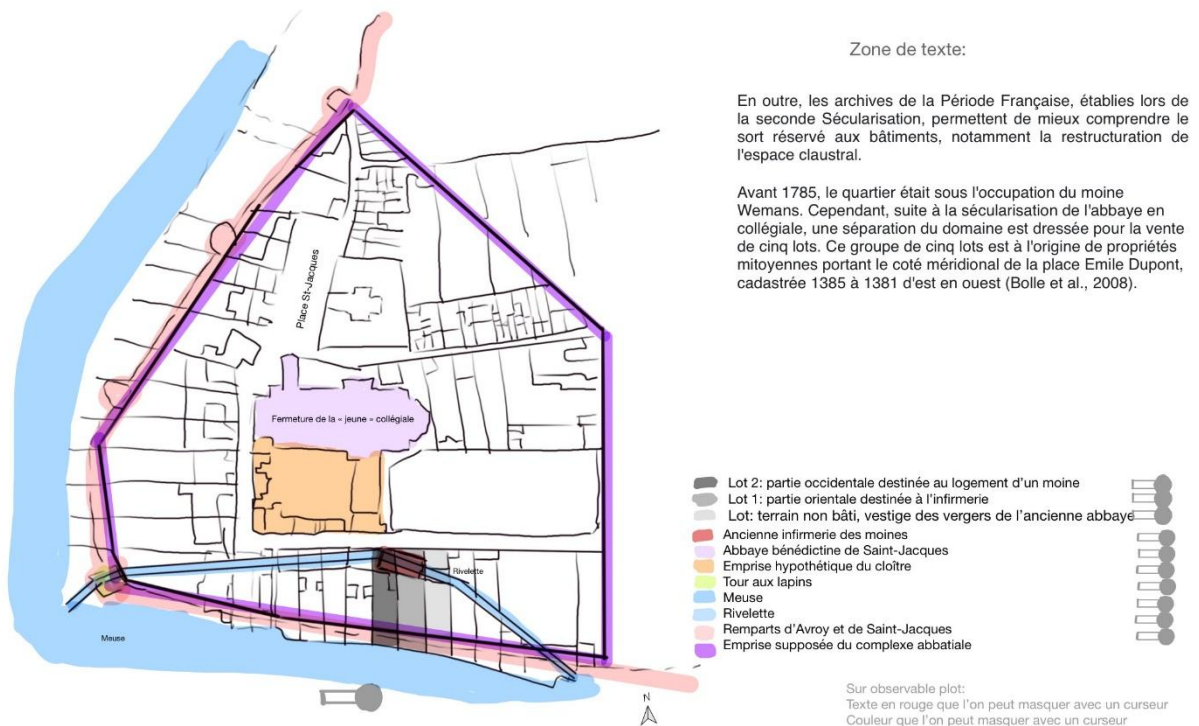


Image retravailler du plan cadastral de 1827 de l'infographie Olivier Gilgean

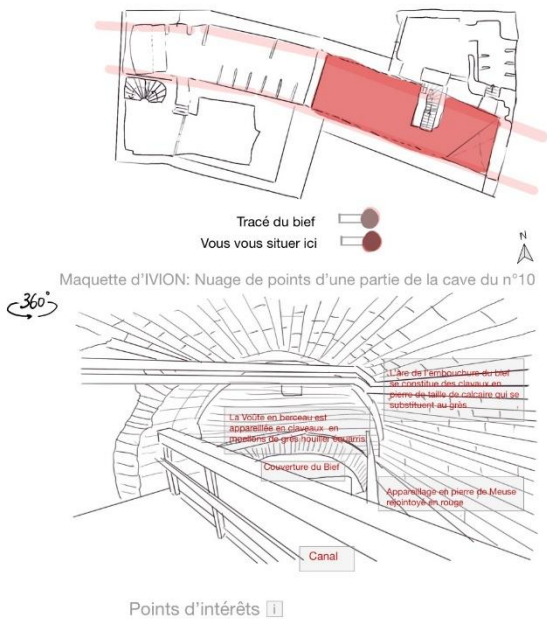
Chapitre 2: Les découvertes sur les maisons sis n°9 et 10 place Émile Dupont

Titre 2: Les structure antérieure aux XIV ème siècle.

Titre3: Le bief

Zone de texte:

Plan du R-1 le Tracé du bief sous l'édifice

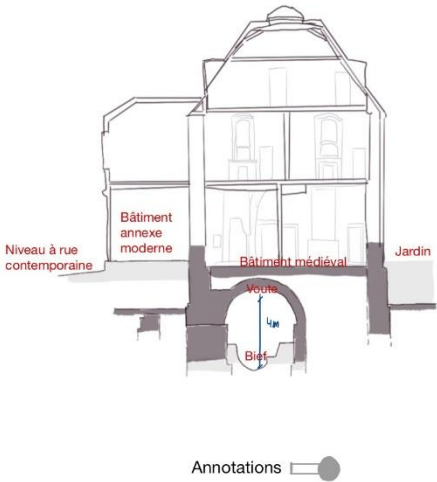


Au XII^e siècle, sous l'abbé Drogon (1155–1173), un petit canal appelé bief (ou rivette) est creusé pour détourner une partie des eaux de la Meuse. L'eau passait sous une voûte appelée le Trou Saint-Jacques, irrigait les vergers du monastère, faisait fonctionner un moulin à blé, puis retournait dans la Meuse (Bolle, Coura & Léotard, 2003).

Au XIV^e siècle, un bâtiment est construit directement au-dessus du bief. Il est légèrement décalé par rapport au bief. Le choix de construire à proximité du cours d'eau permettait une évacuation rapide des eaux usées (Bolle et al., 2008) mais aussi de transporter des matériaux.

Des vestiges de cette structure sont encore visibles aujourd'hui dans les caves du bâtiment actuel, notamment au n°10. Il est possible de voir les arcs en pierre qui soutenaient le bâtiment médiéval. Le bief débouchait sur le pignon oriental de l'édifice, en passant sous un arc orné d'un ressaut chanfreiné. Plus tard, un édifice adjacent est venu masquer cette sortie monumentale (Bolle et al., 2006).

Coupe retravailler (sur AutoCAD) à partir du document réaliser l'année passé par Ophélie Noël, du relevé NavVis de cette année et de l'illustration de Denis Henrard et Pierre Vander Sloot



Zone de texte:

Durant les temps modernes, un terrassement de plus de deux mètres de profondeur a été effectué entre l'intérieur et l'extérieur de l'édifice du XIV^e siècle, afin de niveler le terrain. Ainsi, ce canal souterrain a été conservé sous l'ensemble des maisons actuelles, pour se transformer en cave.

Puis par la suite, au XIX^e siècle il est réaménagé afin d'être relié au réseau d'égouts publics. (Henrard et Van Der Sloot, 2007).

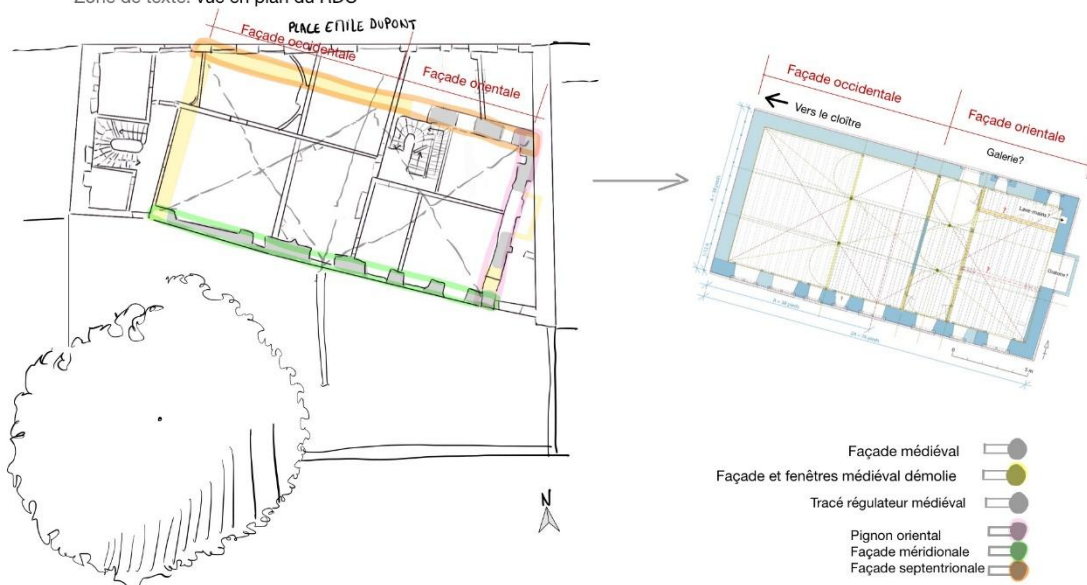
Titre 2: L'édifice du XIVème siècle

Au XIVème siècle, d'importants travaux ont été effectués. Grâce à l'analyse dendrochronologique, le service de l'archéologie a pu dater ces étapes en deux temps.

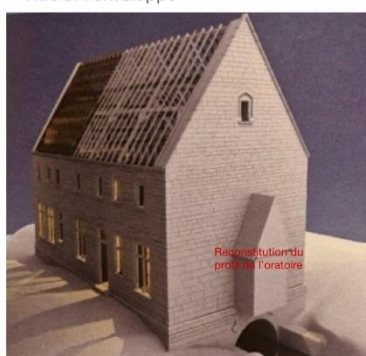
La première phase datée entre 1363 et 1377d, correspond à la mise oeuvre des façades et de la charpente, sous l'abbatit de l'abbé Helin de Meffe (1361-1372). Le chantier s'interrompt en 1369 à la suite d'un incendie. Aucun dégât du sinistre n'a été identifié dans l'édifice, mais l'arrêt du chantier est bien attesté (Bolle et al., 2008).

Plus tard entre 1374 et 1388d, les travaux reprennent sous son successeur Nicolas du Jardin, connu pour la rénovation de l'infirmierie entre 1372 et 1393, avec la mise en place des aménagements intérieurs, notamment les planchers et les pans de bois (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

Zone de texte: vue en plan du RDC



Titre 3: l'enveloppe

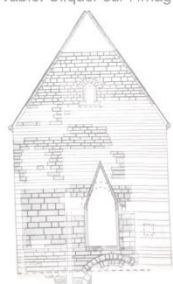


L'édifice du XIVème vue sud-est
Infographie O. Gilgean SPW - DG04

Zone de texte:

L'édifice du XIVème siècle accueille deux niveaux de vie sous combles. Actuellement, seules trois façades en calcaire de Meuse, construites en grand appareil, subsistent. Elles étaient doublées d'un parement intérieur en tuffeau et percées à l'origine de baies surmontées de linteaux en forme de mitre. Modifiées au fil des siècles, leur morphologie a pu être restituée grâce aux encadrements en pierre moulurées encore visibles (Bolle & Léotard, 2002), ainsi qu'à l'analyse des discontinuités dans le dessin des assises du parement et des traces de décharges ou de négatifs (Bolle & Léotard, 2012)

Sur observable: Cliquer sur l'image pour amener à cette section



Le pignon oriental



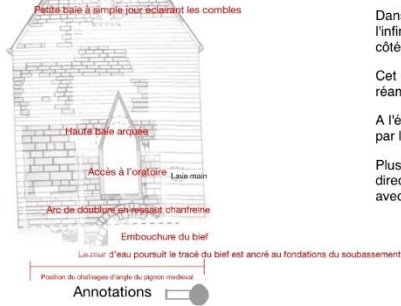
La façade méridionale



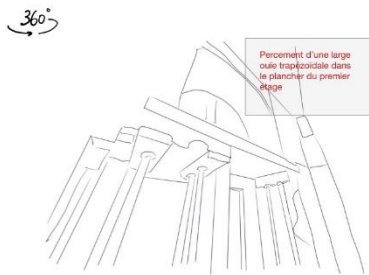
La façade septentrionale

Titre 4: le pignon oriental

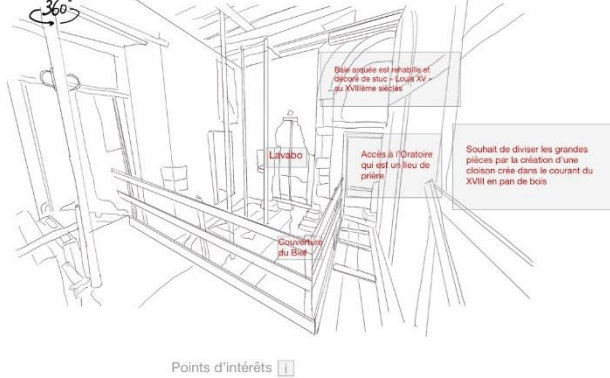
Le pignon oriental est là à base de son pendant



Maquette IVION: vue dans l'oratoire



Maquette IVION:



Points d'intérêts

Zone de texte:

Au Moyen-Age, les infirmeries monastiques comprenaient souvent un oratoire, c'est-à-dire un petit lieu de prière permettant aux moines malades de se recueillir. Celui-ci était généralement orienté vers l'est, direction symbolique liée à la lumière, à l'élévation du souhait de l'âme et aux croyances religieuses de l'époque (Bolle et al., 2008).

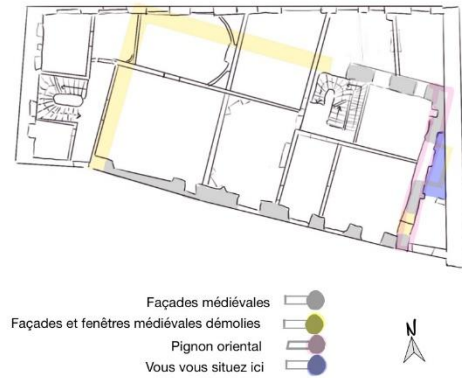
Dans le bâtiment étudié, l'oratoire est une petite pièce à un seul niveau, construite contre le pignon oriental de l'infirmerie. Elle est facilement reconnaissable à sa grande ouverture arquée et à sa toiture à deux versants. Juste à côté, la présence d'un lavabo confirme qu'il s'agissait d'un espace sacré, réservé à la prière et aux gestes rituels.

Cet oratoire a été utilisé jusqu'au XVIIIème siècle. A cette époque, la grande baie arquée donnant sur l'intérieur est réaménagée et décorée dans le style Louis XV (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

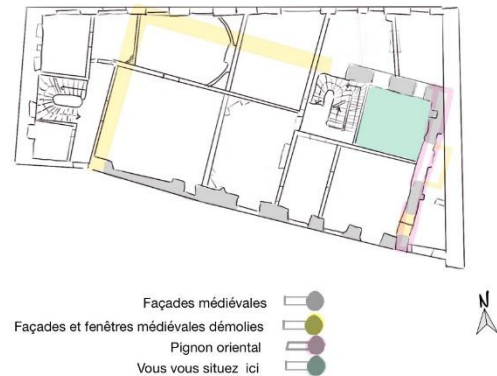
A l'étage, la pièce située au-dessus pourrait avoir servi de chambre pour les malades, selon les recherches menées par les archéologues (Bolle & Léotard, 2014).

Plus tard, à l'époque des Lumières, une large ouverture trapézoïdale est percée dans le plancher, du premier étage, directement au-dessus de l'oratoire. Ce dispositif pourrait avoir permis de maintenir un contact visuel ou symbolique avec le sanctuaire (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

Zone de texte: vue en plan du RDC



Zone de texte: vue en plan du RDC



Zone de texte: un travail d'interprétation pour restituer des phases et retracer l'évolution des structures (Bolle, Coura et Léotard, 2016).

[illegible]

Autrefois, dans le courant du XIV^{ème} siècle, la façade méridionale était tournée vers un bras de Meuse et bénéficiait d'un statut plus importante, avec une technique de taille de la pierre plus raffinée que sa façade opposée. Cette hiérarchisation témoigne d'une volonté de soigner particulièrement ce qui était visible depuis l'extérieur de l'abbaye.

De plus, suite à la sécularisation en 1785, le quartier des malades est divisé en deux maisons canoniales et soumis à de nouvelles limites parcellaires.

En conséquence, l'élévation méridionale a dû être recomposée afin de créer un ensemble harmonieux et équilibré, tout en respectant ces nouvelles limites parcellaires et en s'intégrant à la chaîne d'angles d'origine médiévale et à sa corniche.

Cette cohérence architecturale a été possible grâce à un tracé régulateur moderne qui organise la composition de la façade, en tenant compte de la position du sol, de la limites du fronton, ainsi que de l'agencement et des dimensions des fenêtres. (Bolle & Léotard, 2014)

Cette observation met également en évidence le tracé régulateur médiéval. En effet, l'enveloppe de l'ancienne infirmerie des moines présente des proportions simples: son emprise au sol correspond à deux carrés de 10,79 m de côté, soit 38 pieds de 28,4 cm, formant ainsi un rectangle orienté est-ouest. Ce principe se retrouve en élévation, donnant un parallélogramme rectangle, coiffé d'une toiture en bâtière, délimitée par des pignons droits, ainsi qu'à des éléments de détails des fenêtres (Bolle, Coura & Léotard, 2016)

L'unité de mesure du pied de 28,4 cm se retrouve dans les ouvrages gothiques en milieu urbain à Liège, notamment dans l'ancienne infirmerie. Mais a été abandonnée durant la première moitié du XVI^e siècle et remplacée par deux autres unités. Le pied de Saint-Hubert (29,47cm) était destiné à l'architecture, tandis que le pied de Saint-Lambert (29,18cm) servait pour les mesures agraires et linéaires.

Le pied de Saint-Lambert a notamment été utilisé lors de la transformation de l'élévation méridionale de l'infirmerie entre 1551 et 1561 (Bolle & Léotard, 2014).

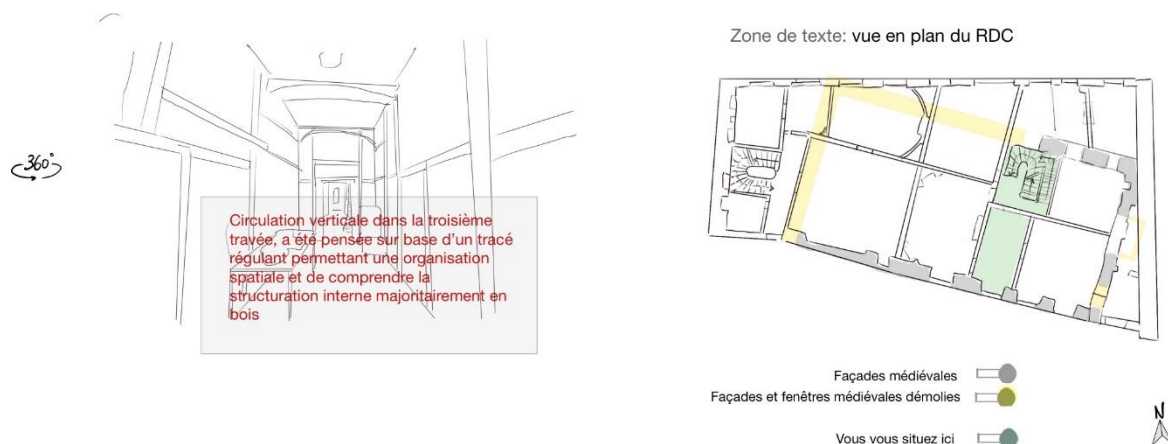
L'étude des différentes unités de mesure permet aussi de mieux dater les transformations et de comprendre leur contexte historique

L'utilisation du pied a constitué une technique largement employée jusqu'à la fin du XVIII^{ème} siècle. Par la suite, le système métrique décimal a été inventé, à la suite des réformes issues de la Révolution Française, et utilisé dès le début du XIX^{ème} siècle (Bolle & Léotard, 2012).

L'organisation spatiale

Concernant l'organisation des espaces, la partie occidentale (située au n°10 actuel) se compose de grandes pièces, tandis que la partie orientale (située au n°9 actuel) rassemble des pièces plus petites, articulées autour d'un couloir transversal, situé dans la troisième travée (Bolle et al., 2008).

La structure interne et l'organisation spatiale peuvent être restituées au rez-de-chaussée, dans la partie orientale, grâce aux nombreux vestiges des planchers, des cloisons et des battants de porte



La composition de la façade

En ce qui concerne l'évolution du style et la composition des façades ainsi que des baies qui les composent, celle de l'infirmerie date de 1363 à 1377 et présente un linteau en mitre. La composition de la façade méridionale a pu être comprise grâce à la restitution des structures intérieures, qui dictent la largeur et le nombre des baies, notamment par la position des pans de bois et des sommiers (Bolle et Léotard, 2014).

Un relevé pierre à pierre a permis d'identifier les discontinuités des assises et ainsi de reconstruire la façade sud du vestige.

L'étude de la partie occidentale du premier étage, correspondant à la façade n°10 et remaniée au XVIème siècle, s'est révélée plus complexe. En effet, l'analyse du mur de la façade, notamment la chaîne d'angles conservée d'un côté et le parement continu de l'autre, a permis d'identifier la présence d'anciennes ouvertures. L'importance des décrochements relevés laisse penser qu'il s'agissait probablement de plusieurs fenêtres. Pour la reconstitution des baies de l'étage, elle s'est avérée plus simple, car il s'agirait de baies à simple jour, similaires à celles observées sur la façade nord. Contrairement à celle du rez-de-chaussée, qui ne disposaient pas de modèle précis. Une tentative de reconstitution a néanmoins été proposée, à partir de l'analyse architecturale et métrique des deux façades, ainsi que par comparaison avec l'iconographie de l'époque (Bolle et Léotard, 2012)

Par ailleurs, l'abandon des fenêtres à croisées sur la façade méridionale pourrait s'expliquer par l'instauration, au XVIIIème siècle, d'un impôt basé sur le nombre de vitres. Ce choix pourrait aussi être lié aux progrès techniques dans la fabrication du verre, qui permet d'avoir des vitres plus grandes (Bolle et Léotard, 2014c).

Titre 4: La façade septentrionale

Les façades à rue actuelle suite aux modifications du tracé urbain aux XIXème et XXème siècles

Aujourd'hui, la façade médiévale a été partiellement détruite et ne peut-être observée à l'intérieur de la maison portant le numéro 9. La façade septentrionale est moins harmonieuse suite à l'appropriation de la maçonnerie en grès houilles, associé à la couverture du canal (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

Élévation - croquis des façades à rue

Au XXème siècle, la façade primitive est dissimulée par une nouvelle façade, qui porte aujourd'hui le numéro 9.



À la fin du XIXème siècle, la façade médiévale de ce côté est démolie puis remplacée par une façade de style néoclassique. Elle correspond aujourd'hui au numéro 10

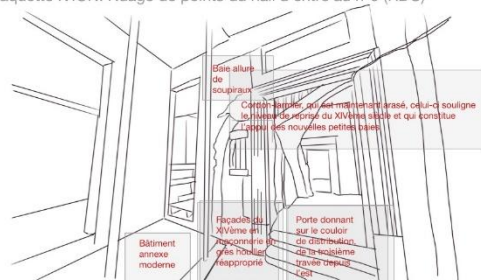
Façade à rue
Annotation
Façade septentrionale
Annotation façades médiévales

Titre 5: La façade septentrionale



Zone de texte: vue intérieur au rez de chaussée

Maquette IVION: Nuage de points du hall d'entrée au n°9 (RDC)

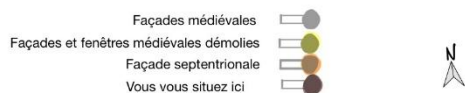


Points d'intérêts 1

Zone de texte:

Cette zone n'était pas destinée à être visible comme elle aurait été cachée par une petite construction sur un seul niveau, qui pourrait correspondre à une galerie et qui relierait l'édifice aux bâtiments claustraux. (Bolle et al., 2014)

Zone de texte: vue en plan du rez-de-chaussée



Zone de texte: vue de l'intérieur au r+1, avec le vestige d'une fenêtre à simple jour



Maquette IVION: Nuage de points de la salle de bain au n°9 (R+1)

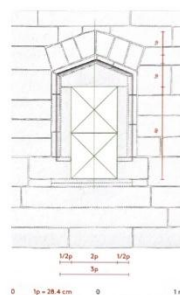


Points d'intérêts 1

Titre 4: la baie à simple jour

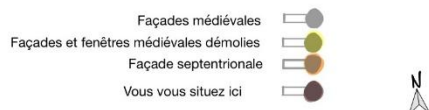
Zone de texte :

Cette découverte de baie à simple jour au premier étage, a permis de restituer la façade opposée (la façade méridionale) du premier étage. Cette baie à simple jour a été dimensionnée avec le pied médiéval de 28,4 cm et se compose ainsi de: 2 pieds de large sur 4 pieds de haut, ce qui équivaut à un carré de 2/2 pieds, tandis que les jours inférieurs très élançés font 5 1/2 et 6 3/4 pieds (Bolle & Léotard, 2012).



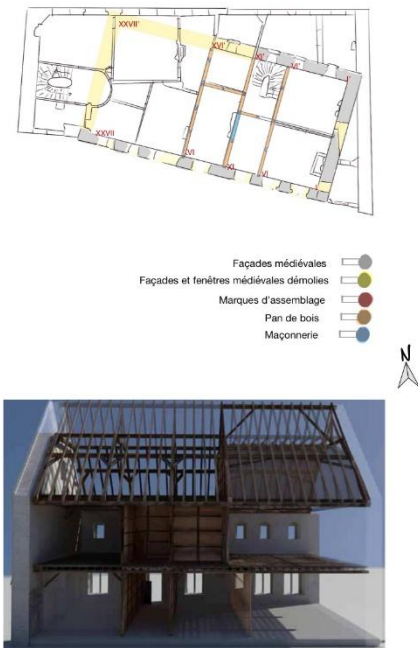
Essai de reconstitution et analyse métrologique d'une baie XIVème siècle, située au premier étage sur la façade nord. Anne Melon, SPW -DGCA- DLg1. Archéologie.

Zone de texte: vue en plan du r+1



Titre 3: la charpente et les structures associées

Zone de texte: vue en plan du R+1



Zone de texte:

La dendrochronologie (une méthode scientifique qui permet de dater le bois grâce aux cernes de croissance) indique que la première phase de construction de la charpente remonte à environ 1363-1377d. Cette charpente, construite en chêne, repose sur la partie supérieure des murs latéraux (appelés « gouttereaux »). Elle est composée de cinq structures principales appelées « fermes », dont deux sont situées près du pignon.

Certaines de ces fermes, ainsi que des éléments secondaires comme les chevrons (pièces de bois inclinées qui soutiennent la couverture) et les sablières (poutres horizontales), sont encore visibles aujourd'hui. Ces éléments sont numérotés de l'est vers l'ouest.

La charpente présente un style mixte. Elle est divisée par une cloison en pan de bois (structure en bois remplie de torchis, un mélange de terre et de paille), fixée à la ferme moulurée située à l'est.

Ces aménagements intérieurs sont réalisés dans une seconde phase datée vers 1347-1388d (Bolle et al., 2008).



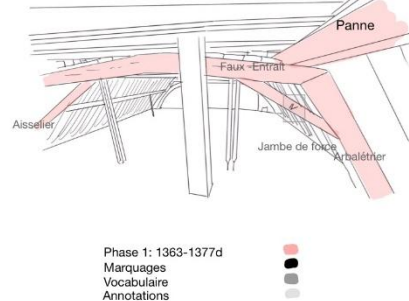
Le charpentier

Depuis le XIII^{ème} siècle, à fin de nous faciliter l'assemblage sur chantier des charpente, nous avons choisi avec mes confrère d'indiquer un marquage sur les différentes pièces. Ainsi cela nous permet de les reconnaître et de bien les orienter comme chacune d'elles sont unique. Nous les mettons sur le même côté dit face à l'établissement et se retrouve en bas ou en bout de pièce.

Titre4: Charpente classique

Traces de marquage

Croquis: Nuage de point au n°9 (R+3)



Zone de texte:

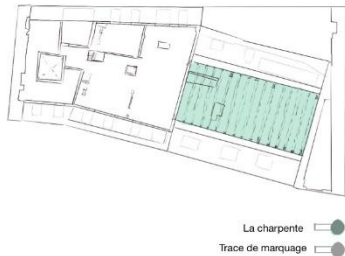
Dans la zone orientale (maison n°9), la composition de la charpente est classique. Les fermes n'étaient pas destinées à être vues (Bolle et al., 2014).

Notre première ferme et chevrons sont placés vers l'est et porte le numéro « un » en chiffre romain sur le côté ouest. Par la suite nous avons monté la ferme IV, mais cette ferme ne porte pas le numéro 4 comme vous pourriez le penser. Cette ferme représente le numéro 6



Trace de marque d'assemblage en chiffres romains (O. Noël, 2024)

Zone de texte: vue en plan du R+3



Titre4: la charpente lambrissée

Coupe: Reconstitution du pan-de-bois inscrit sous la ferme n°XVI, délimitant la salle lambrissée à l'est

Coupe retravailler (sur AutoCAD) à partir du document réalisé l'année passé par Ophélie Noël, du relevé NavVis de cette année et de l'illustration de l'infographie Anne Mélon



Annotations

Sur observable plot: Couleur rouge et jaune et numérotation peut masquer

Phase 1 Pan de bois
 charpente ...
 Phase 2 ...
 Pan de bois ...

Zone de texte:

Dans la zone occidentale du bâtiment, une voûte en berceau lambrissée s'étend sur environ 8 mètres de long. Elle était encadrée par deux fermes moulurées, peintes en polychromie et ornées de fleurs sculptées en bois, de forme circulaire ou carrée (Bolle, Coura & Léotard, 2016).



Fleurs en bois décorant la ferme orientale de la charpente lambrissée. SPW - GGG

Les lambris (planches de bois décoratives) étaient fixés sur dix chevrons-formant-fermes, qui servaient de support intermédiaire à la voûte. Cette salle, située à partir du premier étage, occupait autrefois une superficie d'environ 74 m² et atteignait une hauteur maximale de 8,5 mètres.

Elle était délimitée à l'est par une cloison en pan de bois remplie de torchis, avec une petite porte au nord, permettant l'accès à la partie orientale de l'édifice.

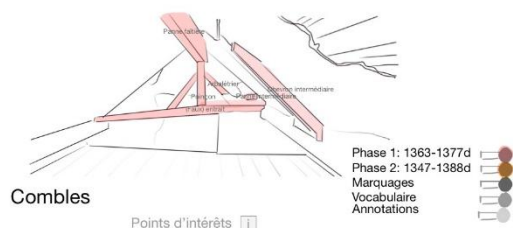
L'ensemble de ces caractéristiques laisse penser qu'il pourrait s'agir de l'ancienne salle des malades, un espace commun vraisemblablement destiné à l'accueil et au repos. Il est également probable qu'un coin dédié à la prière existait à l'intérieur de cette salle.

Dans la seconde moitié du XVI^e siècle, la partie occidentale de l'édifice (aujourd'hui identifiée comme le n°10) est profondément remaniée. Entre 1551 et 1569, la grande salle lambrissée est divisée par l'ajout de deux niveaux de planchers, entraînant la disparition de la haute salle ouverte d'origine (Bolle, Coura et Léotard, 2016).

Pan-de-bois inscrit sous la ferme n°XVI, délimitant la salle lambrissée à l'est au n°10

Maquette ivion annoté peut voir les deux pièces l'une en face de l'autre côté est (n°10) et ouest (n°9)

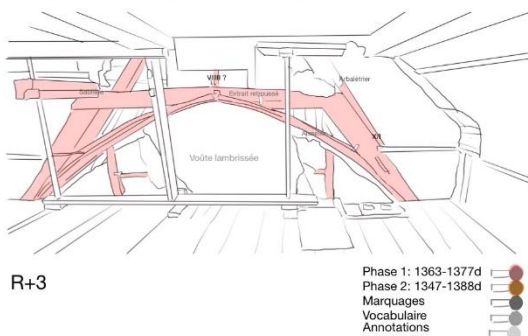
Croquis: des combles de la salle lambrissée au n°10 (R+4)



Combles

Points d'intérêts

Maquette IVION: Nuage de point d'une partie d'une pièce de la salle lambrissée au n°10 (R+3)



R+3

Phase 1: 1363-1377d
 Phase 2: 1347-1388d
 Marquages
 Vocabulaire
 Annotations

Zone de texte: vue en plan du R+4



Façade et fenêtres médiéval démolie

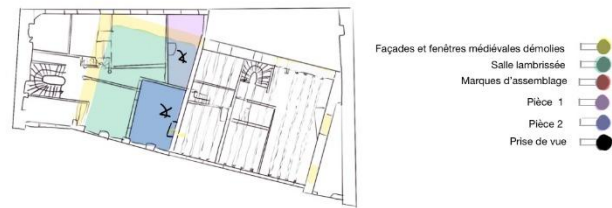
Zone de texte: vue en plan du R+3



Façade et fenêtres médiéval démolie

Zone de texte: la salle lambrissée au R+2

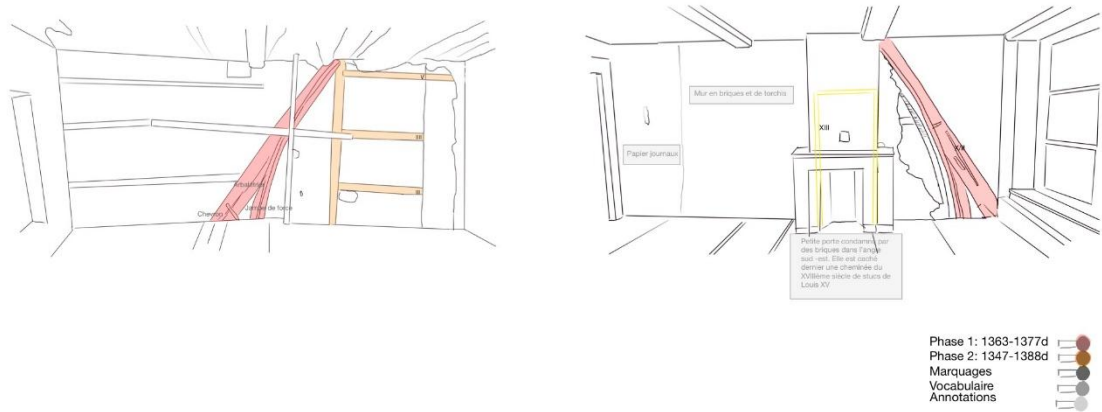
Zone de texte: vue en plan du R+2



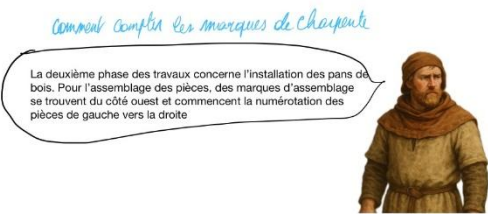
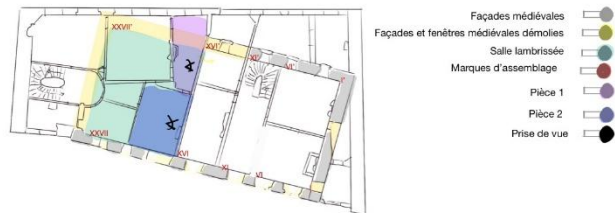
Pièce 1

Pièce 2

Dessin d'une partie de la charpente dans une pièces de la salle lambrissée au n°10 (R+2)



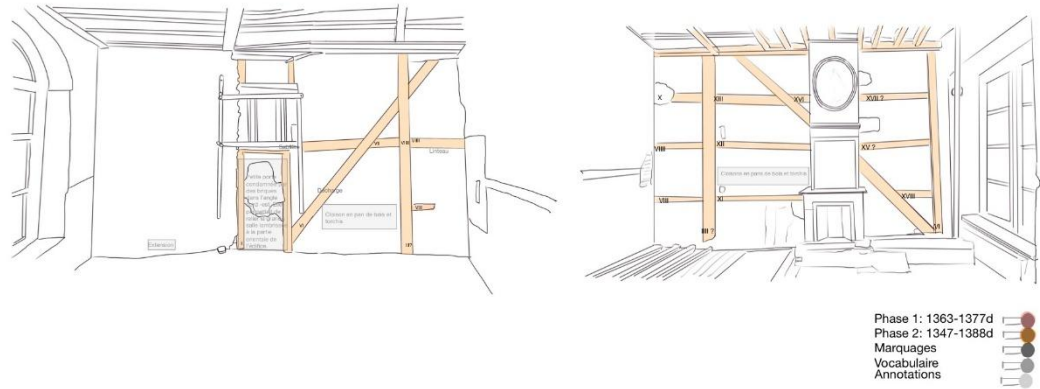
Zone de texte: la salle lambrissée au R+1



Maquette IVION: Nuage de points des parties des pièces de la salle lambrissée au n°10 (R+1) I

Pièce 1

Pièce 2



Titre 2: Les peintures

Sur observable: peut cliquer sur l'image pour accéder à la section



Peinture murale en grisaille du XVIème siècle



Le salon Bleu du XVIIIème siècle



Peinture en plinthe noir du XVIIIème siècle



Le Théâtre fin XIXème- début XXème siècle

Titre 3: Les peintures en grisaille

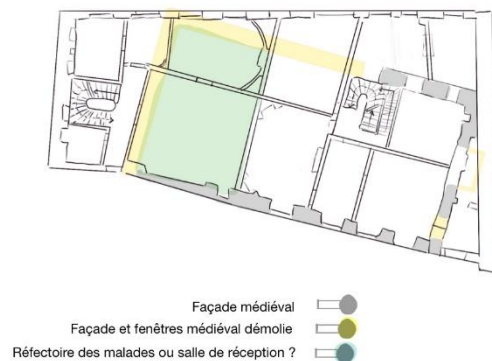
Maquette IVION: 360° d'une pièce au n°10 (RDC)



Points d'intérêts ⓘ

En rouge (mise en évidence élément)

Zone de texte: vue en plan du RDC



Zone de texte:

À la suite de la campagne de rénovation menée durant la seconde moitié du XVI^e siècle, les nouvelles pièces créées sont richement décorées de peintures murales en grisaille, encadrées par des motifs architecturaux polychromes, occupant la partie supérieure des murs.

Une découverte majeure a révélé un ensemble artistique inédit sur un mur de refend en brique, situé dans la partie occidentale du rez-de-chaussée. Ces peintures murales, longues de neuf mètres, reprennent des gravures de Maerten Van Heemskerck (1498-1574), publiées en 1558-1559 par Hieronymus Cock. Elles illustrent la parabole des Noces royales (N.T. Matt. 22).

Les panneaux sont entourés de colonnes polychromes en trompe-l'œil, qui donnent l'illusion de soutenir les poutres du plafond et suggèrent la présence d'éléments disparus comme des cloisons ou des appuis de fenêtre.

Ce décor particulier laisse penser que cette salle avait une fonction précise, peut-être un réfectoire pour les malades ou une salle de réception. (Bolle & Léotard, 2014)

Suite à cette découverte, le Ministre en charge du patrimoine a décidé d'annuler le permis d'urbanisme, seulement quelques jours avant la démolition prévue (Bolle & Léotard, 2002). Pour confirmer son importance, des experts étrangers ont été sollicités et ont confirmé le caractère exceptionnel de ce vestige.

T4: histoire de la peinture des Noces Royales

Planche 4:
Troisième prétexte

Le serviteur s'approche des invités pour les convier au banquet. L'homme fait un geste vers sa femme assise.

Planche 5:
Invitation pour les malades et les pauvres

Le serviteur invitait les malades et les pauvres au banquet.

Planche 6: Punition de l'homme sans habit de nocces

Le sort de l'homme qui est venu sans vêtement de mariage: à l'entrée il affronte un homme, à l'intérieur du bâtiment, les invités s'assoient autour d'une table; dehors, il est jeté dans une fosse.

Hieronymus Cock

Je me suis inspiré des gravures de Maerten Van Heemskceck éditées en 1558-1559, ces scènes reproduisent les trois dernières épisodes d'une suite de gravures où l'on peut encore retrouver certains fragments sur ce mur de refend en briques.

Annotations

Photo du mur existant avec le fragment de la toile où l'on peut faire apparaître les trois dernières planches.

+ info sur Hieronymus Cock

Sur la face interne du pignon, Hieronymus Cock avait illustré le premier triptyque, malheureusement plus tard au XIXème le mur primitif disparaît. Les planches étaient illustrées ainsi:

Planche 1:
Préparation pour la fête de mariage

La préparation du banquet, le roi envoyant son serviteur à inviter des invités. Au premier plan, un groupe d'hommes massacrent un grand taureau.

Planche 2:
Premier prétexte: le nouveau troupeau

L'homme achète un terrain: à une porte de la ville, le serviteur s'approche d'un personnage avec un bâton qui pointe vers une ferme et des champs.

Planche 3: deuxième prétexte: le nouveau troupeau

L'homme qui a acheté cinq bœufs, le serviteur converse avec une silhouette qui pointe vers son troupeau de bovins.

Marten Van Heemskerck

Mon inspiration pour ces planches a été tirée de la bible versets Luc 22

Annotations

+ Versets masqués: cliquez ici pour lire l'extrait du texte de la bible

pasteur Marc Pernot

Textes de la Bible

Matthieu 22:1-14

Jésus leur parla de nouveau en paraboles et il dit:

¹Le royaume des cieux est semblable à un homme qui fit des noces pour son fils.

- ²Il envoya ses serviteurs pour appeler ceux qui avaient été appelés aux noces: mais ils ne voulurent pas se mettre en route.
- ³Il envoya de nouveaux d'autres serviteurs en disant: «Dites à ceux qui ont été appelés: j'ai préparé mon festin, mes bœufs et mes bêtes grasses sont tués, tout est prêt, venez aux noces.» Mais, ceux-ci, indifférents s'éloignèrent vers son champ ou vers son commerce.
- ⁴Ceux qui restèrent se saisièrent des serviteurs, les injurièrent et les tuèrent. Le roi fut irrité, il envoya son armée, fit périr ces meurtriers et brûla leur ville.
- ⁵Alors il dit à ses serviteurs: Les noces sont prêtes, mais les invités n'en étaient pas dignes. ⁶Allez donc aux embranchements des chemins, et invitez aux noces tous ceux que vous trouverez. ⁷Ces serviteurs s'en allèrent par les chemins, rassemblèrent tous ceux qu'ils trouvèrent, méchants et bons, et la salle des noces fut remplie de convives.
- ⁸Le roi entra pour voir les convives, et il aperçut là un homme qui n'avait pas revêtu un habit de nocces. ⁹Il lui dit: Mon ami, comment es-tu entré ici sans avoir un habit de nocces? Cet homme fut muet. ¹⁰Alors le roi dit à ses serviteurs: Liez-lui les pieds et les mains, et jetez-le dans les ténébreuses du dehors, où il y aura des pleurs et des grincements de dents.

¹¹Car une multitude sont appelés et peu sont élus.

+ info sur Marten Van Heemskerck

En rouge (Texte que l'on peut masquer avec un curseur) sur observable

Zone de texte:

Cette illustration propose une restitution des décors du XVI^e siècle. Au rez-de-chaussée, la parabole des Noces royales apparaissait sur le mur du pignon occidental primitif ainsi que sur le mur de refend en briques. Le mur sud, percé de trois fenêtres, présentait également des peintures sur les ébrasements des baies. Sur la seule baie encore conservée, deux apôtres sont représentés en pied: Saint Paul, identifié par une cartouche, et en vis-à-vis un personnage plus barbu et plus âgé, probablement Saint Pierre. Ces deux apôtres étaient souvent associés. Il est possible que l'ensemble des douze apôtres ait été représenté dans cette salle, répartis en fonction des ouvertures sur la façade opposée (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

Au-dessus de cette pièce, au premier étage, dans la grande salle lambrissée, se trouvent des peintures murales du même style, qui dialoguent avec l'architecture, mais présentant un programme différent. Ces décors comprennent des représentations de blasons, d'inscriptions et de petites figures. Sur la façade sud, côté intérieur, apparaissent des anges en grisaille aux ailes déployées, ainsi qu'un personnage barbu peint sur un trumeau.

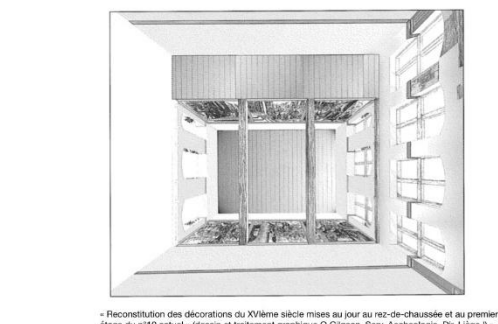
Des armoiries ont également été découvertes sur l'intrados d'une fenêtre, encadrées par des colonnes semblables à celles du rez-de-chaussée. Une cartouche y indique l'emplacement disparu des traverses des baies. Une première analyse iconographique a mis en évidence un style romanisant, caractéristique de la seconde moitié du XVI^e siècle. L'analyse dendrochronologique des sommiers en bois, datés entre 1551 et 1569, a permis de confirmer, dans le domaine héraldique, qu'au moins un blason porte les armes d'Herman de Rave, quarantième abbé de Saint-Jacques au milieu du XVI^e siècle. Sur l'intrados des fenêtres de l'étage figurent également les armoiries de la famille de Rave (1551-1583).

Herman de Rave est également connu pour avoir fait construire, en 1558, le portail Renaissance de l'église abbatiale, attribué à Lambert Lombard (Bolle & Léotard, 2016).

Zone de texte qui peut être masquée

+ Consolidation des enduits peints des peinture du XVIème siècle

Elles ont subi des dégradations causées par des dépôts de suie provenant d'un conduit de cheminée au niveau du mur oriental. La consolidation de ces enduits a été réalisée au moyen d'injections de coulis à base de chaux (Hydroxyde de calcium), de sable et de caséinate de chaux (Verstralen, 2014).



+ Reconstitution des décors du XVIème siècle mises au jour au rez-de-chaussée et au premier étage du n°10 actuel + (dessin et traitement graphique O.Gligean, Serv. Archéologie, Dr. Ligez)



Lambert Lombard

+ info sur Lambert Lombard

Herman II de Rave, m'a appelé pour bâtir le porche septentrional de l'église abbatiale ainsi pour peindre les murs situés au premier étage de l'infirmerie des moines dans le courant du XVIème siècle

Titre3: Le « Salon Bleu »

Maquette IVION: Nuage de point du salon bleu au n°10 (RDC)



Zone de texte:

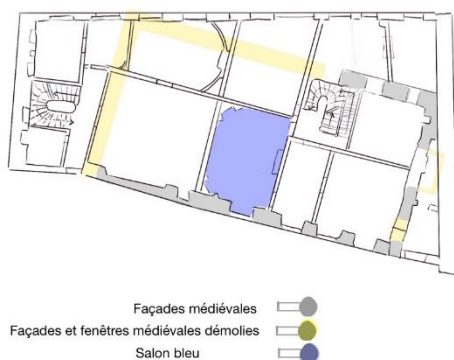
Au rez-de-chaussée, cette salle présente un décor homogène datant de la fin du XVIII^{ème} siècle. Douze panneaux peints illustrent des scènes mythologiques et des motifs inspirés de l'Antiquité. L'état des panneaux situés sur les murs nord et sud est jugé préoccupant (Verstralen, 2014)

Zone de texte qui peut être masquée

+ Consolidation des enduits peints de la salle du « Salon Bleu »

Ces panneaux souffrent d'humidité causant écaillages, craquelures et lacunes. Sur les murs nord et sud, les peintures ont été stabilisées avec un mélange PVA-Tylose appliqué avec du papier japon humidifié, puis aplati. Tandis que les décors des murs est et ouest ont reçu des injections de coulis de chaux et sable (Verstralen, 2014).

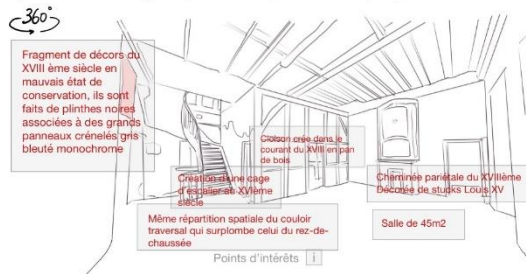
Zone de texte: vue en plan du rez-de-chaussée



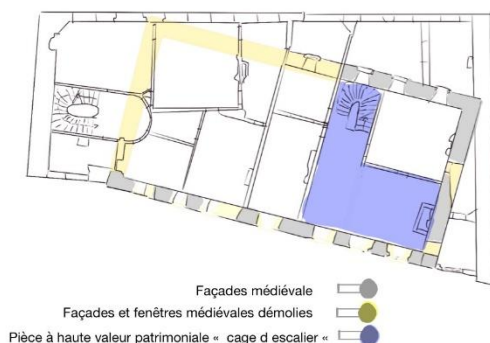
Titre 3: peinture plinthe noir

Titre 4: La cage d'escalier

Maquette IVION: Nuage de point d'une partie au n°9 (R+1)

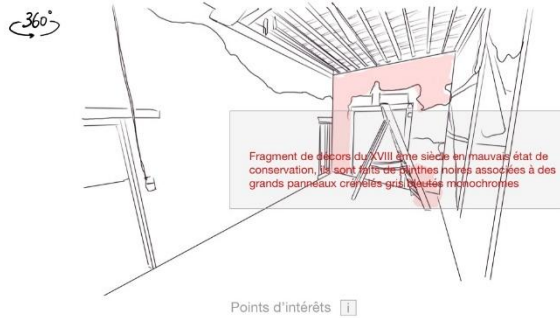


Zone de texte: vue en plan du r+1



Titre 4: La chambre côté façade

Maquette IVION: Nuage de points de la chambre au n°9 (R+1)



Zone de texte:

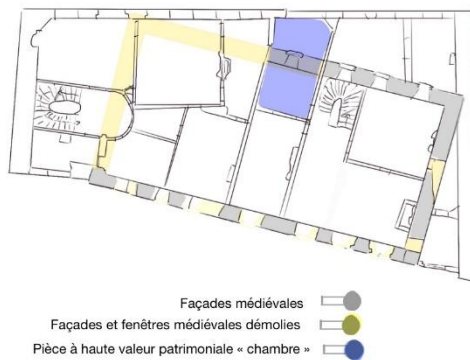
Dans la cage d'escalier et la chambre du premier étage, des éléments décoratifs datant probablement du XVIII^e siècle sont conservés. Il s'agit d'une plinthe noire associée à de grands panneaux bleus aux motifs crénelés. Leur état de conservation est globalement médiocre (Verstralen, 2014).

Zone de texte qui peut être masquée

+ Consolidation des enduits peints de la cage de l'escalier et de la chambre

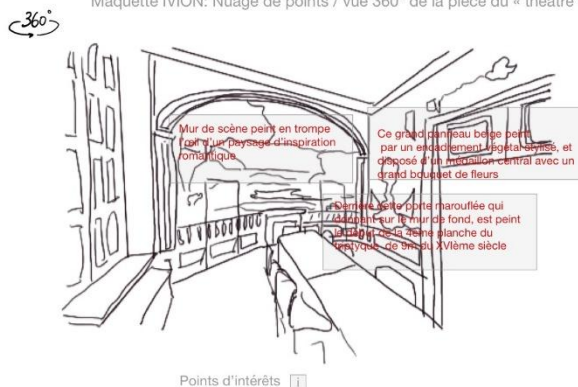
Ces décors sont en mauvais état, présentent des enduits fissurés et des peintures poudreuses. La première partie de la restauration a consisté à un dépoussiérage, puis à la fixation de la couche de peinture à l'aide de Tylose puis l'encollage du papier japon humidifié par un mélange d'eau et d'alcool. La seconde partie de restauration a permis de consolider les enduits par injections de coulis de chaux et de sable (Verstralen, 2014).

Zone de texte: vue en plan du r+1



Titre 3: Le « Théâtre »

Maquette IVION: Nuage de points / vue 360° de la pièce du « théâtre » au n°10 (RDC)



Zone de texte:

Cette pièce au rez de chaussée présente un décor réalisé entre la fin du XIX^e siècle et le début du XX^e siècle. Le mur oriental abrite une scène, tandis que les murs nord, sud et ouest sont ornés de grands panneaux décoratifs (Verstralen, 2014).

Zone de texte qui peut être masquée

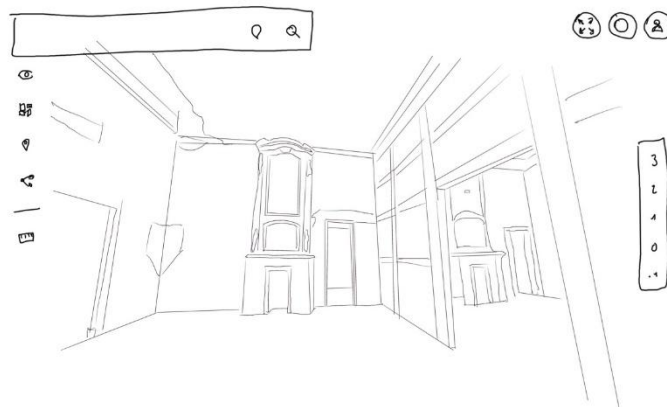
+ Consolidation des enduits peints de la salle du « Théâtre »

Des fissures de soulèvements ont été stabilisées avec des injections de Ledan TB1, tandis que les grandes fissures ont été comblées avec un mortier de chaux et sable. Les portes marouflées ont, quant à elles, été consolidées à l'aide d'un adhésif acrylique (Verstralen, 2014).

Zone de texte: vue en plan du rez-de-chaussée



Titre 2: Visite virtuelle



Titre 2: La collecte de données

Pour concevoir la maquette 3D des maisons sises n°9 et 10 sur la plateforme NavVis IVION, des relevés ont été effectués avec l'outil NavVis VLX deuxième génération. Cet outil utilise la technologie du SLAM (Localisation et cartographie simultanée) et permet de faire de la cartographie intérieure. Autrement dit, ce principe s'inspire de la robotique et peut se trouver sous différentes formes. Dans le cas du NavVis VLX deuxième génération, c'est un système à positionner sur le dos de l'utilisateur, avec une ceinture pour répartir son poids de 8,7 kg. Il est équipé de deux capteurs LiDAR, de quatre caméras, d'un logiciel SLAM et d'une unité de mesure inertielle (IMU). Un écran tactile offre des informations en temps réel sur ce qui est en train d'être scanné, directement sur une carte.

Un premier relevé a été effectué l'année passée avec le même outil par A. Schreurs et L. Moray, dans le cadre du projet URMIBALI. Ce projet a pour but d'étudier les bâtiments historiques et traditionnels liégeois, afin d'obtenir des connaissances sur les matériaux présents et sur le flux de déchets générés des opérations de réhabilitation énergétique (Trachte et al., 2025). Le second relevé, réalisé est dans le cadre d'un mémoire sur l'utilisation de plateforme de médiation web pour communiquer le patrimoine. Ce relevé a permis de mieux comprendre le fonctionnement de l'outil, du site et de compléter les données existantes.

Titre 2: Bibliographie

- Bolle C., & Léotard J.-M. (2002). Les vestiges des bâtiments claustraux de l'abbaye de Saint-Jacques à Liège sauvés in extremis. *Bulletin de liaison Icomos Wallonie-Bruxelles*, 11, 1-2.
- Bolle, C., Coura, G., & Léotard, J.-M. (2003). Les vestiges des bâtiments claustraux de l'abbaye de Saint-Jacques à Liège (Lg.). *Archaeologia Mediaevalis*, 26, 93-95.
- Bolle C., & Léotard J.-M. (2006). Liège/Liège : conservation des bâtiments claustraux de l'ancienne abbaye de Saint-Jacques. *Chronique de l'Archéologie Wallonne*, 13, 107-171.
- Bolle, C., Charlier, J.-C., Coura, G., & Léotard, J.-M. (2008). Les vestiges des bâtiments conventuels de l'ancienne abbaye de Saint-Jacques. *Les dossiers de l'Institut du Patrimoine Wallon*, 7, 43-58.
- Bolle, C., & Léotard, J.-M. (2008a). Les pans-de-bois médiévaux de l'ancienne infirmerie de l'abbaye de Saint-Jacques à Liège. <Dossier de la Commission Royale des Monuments, Sites et Fouilles, 12, 257-266.
- Bolle C., & Léotard J.-M. (2012). Finalités et enjeux des relevés graphiques dans le cadre des études archéologiques des bâtiments. *Thema & Collecta*, 2, 62-71.
- Bolle C., & Léotard J.-M. (2014). L'archéologie des bâtiments à Liège et le centre d'archéologie du bâti. In : Bolle C., Coura G. & Léotard J.-M., (dir.), L'archéologie des bâtiments en question : un outil pour les connaître, les conserver et les restaurer. actes du colloque international, Liège 10-11 novembre 2010. Namur (Études et Documents, Archéologie, 35). 291-315. https://www.academia.edu/37310830/E_D35_Archebat_Bolle_et_al_2011_315
- Bolle, C., Coura, G., & Léotard, J.-M. (2016). L'infirmerie des moines, dernier vestige des bâtiments conventuels. In Allart, D., & al. (dir.). L'église Saint-Jacques à Liège *Templum pulcherrimum: une histoire, un patrimoine*. Institut du Patrimoine wallon. pp. 67-77
- Bolle, C., & Léotard, J.-M. (2014). Contribution des recherches archéologiques à la connaissance de l'architecture civile liégeoise. In M. Doogne (Dir.), L'archéologie en Wallonie : Les Temps modernes et l'époque contemporaine. L'archéologie des conflits, des mondes urbain et rural (*Carnets du Patrimoine*, 117, pp. 44-46). Namur.
- Henrard, D., & Van Der Sloot, P. (2007). Liège/Liège : fouilles des maisons sises place Emile Dupont, nos 9 et 10. *Chronique de l'Archéologie Wallonne*, 14, 121-123.
- Verstraelen, N. (2014a). Monitoring et conservation préventive à Liège sur les sites de l'archéoforum et du centre wallon d'archéologie du bâti (CWAB). In Bolle, C., Coura, G., & Léotard, J. M. (dir.), L'archéologie des bâtiments en question : un outil pour les connaître, les conserver et les restaurer. Institut du Patrimoine wallon, pp. 171 – 186.
- Van Rymbeke, M., Carré, C., & Billen, R. (2012). L'existant et l'ayant existé. Documenter le patrimoine dans la diachronie. *Thema & Collecta*, 2, 43-51.
- Verstraelen, N. (2014b). Belgique/Liège/Liège. Mesures conservatoires au centre wallon d'archéologie du bâti. In Bolle, C., Coura, G., & Léotard, J. M. (dir.), L'archéologie des bâtiments en question : un outil pour les connaître, les conserver et les restaurer. Institut du Patrimoine wallon, pp. 370 – 377.
- Trachte, S., Romboux, A., Noël, O., Schreurs, A., Sosnowska, P., & Hallot, P. (2025, February). Projet URMIBALI : Comment les outils numériques de documentation du patrimoine peuvent renforcer la connaissance et le réemploi des matériaux constituant le bâti traditionnel ancien, dans une approche d'Urban Mining. In *Journée de la recherche de l'Unité de Recherche Art Archéologie et Patrimoine*.
- NavVis. (2024, septembre). Fiche de données NavVis VLX2. Consulté sur <https://fr.navvis.com/resources/specifications/navvis-vlx-2>

15.2 Annexe 2 : Site web réalisé sur la plateforme Observable

« L'ancienne infirmerie des moines de l'abbaye de Saint-Jacques à Liège ».

Lien HTML du notebook : <https://observablehq.com/d/03347d80c92f535a>

L'ancienne infirmerie des moines de l'abbaye de Saint-Jacques à Liège

- [Un trésor caché](#)
 - [Une trace oubliée resurgit à la place Emile Dupont](#)
 - [Jalon historique](#)
- [Les découvertes sur les maisons sises n°9 et 10](#)
 - [Les structures antérieures au XIVème siècle](#)
 - [L'édifice du XIVème siècle](#)
 - [L'enveloppe](#)
 - [La charpente à typologie mixte](#)
 - [Les peintures](#)
- [Visite virtuelle](#)
 - [La collecte de données](#)
- [Bibliographie](#)

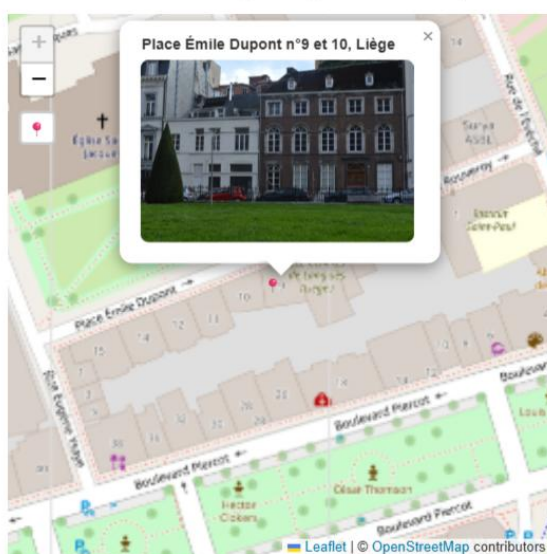
Un trésor caché ↑

La ville de Liège, située dans l'est de la Belgique, en Wallonie, s'étend dans la vallée de la Meuse. Elle se distingue par son riche passé politique et religieux, ayant été autrefois la capitale de la principauté de Liège. La ville s'est développée autour d'importants centres religieux, comme les abbayes.

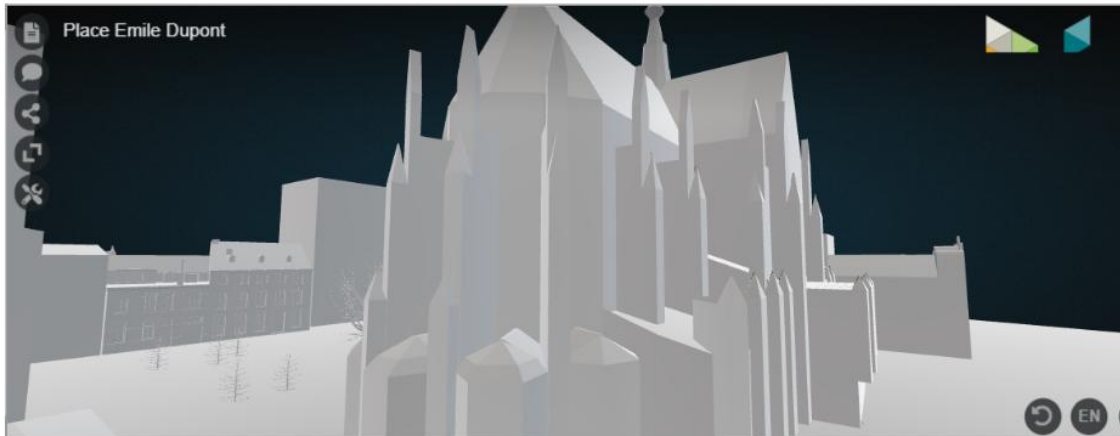
Au fil des siècles, de nombreuses traces de son histoire ont disparu, mais certaines réapparaissent peu à peu, témoignant de l'importance de cette ville. Aujourd'hui, elle compte plus de 448 bâtiments classés, remarquables par leur architecture et par la richesse de leur histoire.

Parmi tous ces vestiges, un patrimoine exceptionnel refait surface. Cet ancien vestige médiéval, situé place Émile Dupont et caché derrière des façades à rue.

Une trace oubliée resurgit à la place Emile Dupont ↑



A la découverte des maisons sises n°9 et 10



En 2001, ces deux maisons étaient destinées à être démolies pour laisser place à un nouvel immeuble. Leur sort semblait scellé, mais suite à des fouilles archéologiques, il s'avère que derrière ces deux façades à rue se cache le dernier bâtiment conventuel épargné de l'abbaye de Saint-Jacques. Grâce à différentes découvertes, le permis d'urbanisation est annulé et l'édifice a pu être conservé, ainsi que de bénéficier d'une procédure de classement en 2003.



"A gauche: Façades à rue des maisons sises place Emile Dupont n°9 et 10 et à droite: Façades arrière des maisons pendant les fouilles"

Jalon historique

Pour mieux situer cette découverte et son environnement d'autrefois, des annotations ont été ajoutées sur une maquette historique de 1730, qui offre un aperçu de la ville de Liège avant la révolution industrielle. Elle a été conçue entre 1900 et 1910 par Gustave Ruhl, cette maquette a ensuite été numérisée, dans le cadre du projet Virtual Leodium (Van Rymbeke et al., 2012).

Retour en 1730 avec la maquette de G. Ruhl

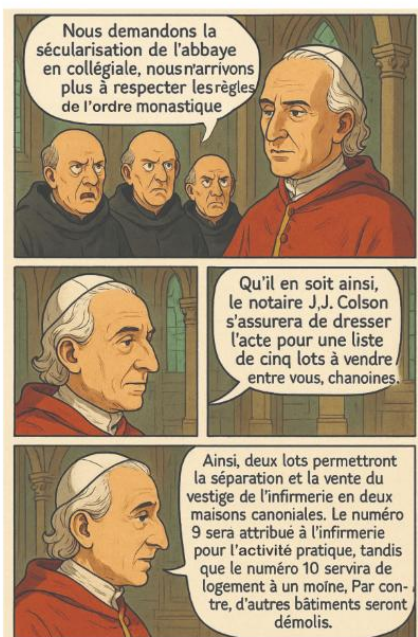


Dans l'histoire de la ville de Liège, le patrimoine bâti médiéval est resté longtemps méconnu croyant qu'une grande partie avait disparu suite à différents événements

En 1468, Charles Le Téméraire



En 1785, les anciens moines devenue chanoines avec le pape Pie VI



Les nouvelles limites cadastral de 1827

En outre, les archives de la Période Française, établies lors de la seconde Sécularisation, permettent de mieux comprendre le sort réservé aux bâtiments, notamment la restructuration de l'espace claustral.

Avant 1785, le quartier était sous l'occupation du moine Wemans. Cependant, suite à la sécularisation de l'abbaye en collégiale, une séparation du domaine est dressée pour la vente de cinq lots. Ce groupe de cinq lots est à l'origine de propriétés mitoyennes portant le côté méridional de la place Emile Dupont, cadastrée 1385 à 1381 d'est en ouest (Bolle et al., 2008).

<detached>

Plan cadastral primitif de 1827



- ☒ Plan cadastral
- ☒ Meuse
- ☒ Rivelette
- ☒ Bâti
- ☐ Remparts d'Avroy et de Saint-Jacques
- ☐ Emprise supposée du complexe abbatial
- ☐ Abbaye bénédictine de Saint-Jacques
- ☐ Emprise hypothétique du cloître
- ☐ Tour aux Lapins
- ☒ Infirmerie des moines
- ☐ Lot terrains non bâtis, vestiges des vergers de l'ancienne abbaye
- ☐ Lot 1: partie orientale destinée à l'infirmerie
- ☐ Lot 2: partie occidentale destinée au logement d'un moine
- ☐ Texte

Les découvertes sur les maisons sis n°9 et 10 ↑

Les structures antérieures au XIV^{ème} siècle ↑

Le bief

Au XII^{ème} siècle, sous l'abbé Drogon (1155–1173), un petit canal appelé bief (ou rivette) est creusé pour détourner une partie des eaux de la Meuse. L'eau passait sous une voûte appelée le Trou Saint-Jacques, irrigait les vergers du monastère, faisait fonctionner un moulin à blé, puis retournait dans la Meuse (Bolle, Coura & Léotard, 2003).

Au XIV^{ème} siècle, un bâtiment est construit directement au-dessus du bief. Il est légèrement décalé par rapport au bief. Le choix de construire à proximité du cours d'eau permettait une évacuation rapide des eaux usées (Bolle et al., 2008) mais aussi de transporter des matériaux.

Des vestiges de cette structure sont encore visibles aujourd'hui dans les caves du bâtiment actuel, notamment au n°10. Il est possible de voir les arcs en pierre qui soutenaient le bâtiment médiéval. Le bief débouchait sur le pignon oriental de l'édifice, en passant sous un arc orné d'un ressaut chanfreiné. Plus tard, un édifice adjacent est venu masquer cette sortie monumentale (Bolle et al., 2006).

Plan du rez-de-chaussée et du sous-sol

Plan du rez-de-chaussée actuel

Mur médiéval existant au rez-de-chaussée

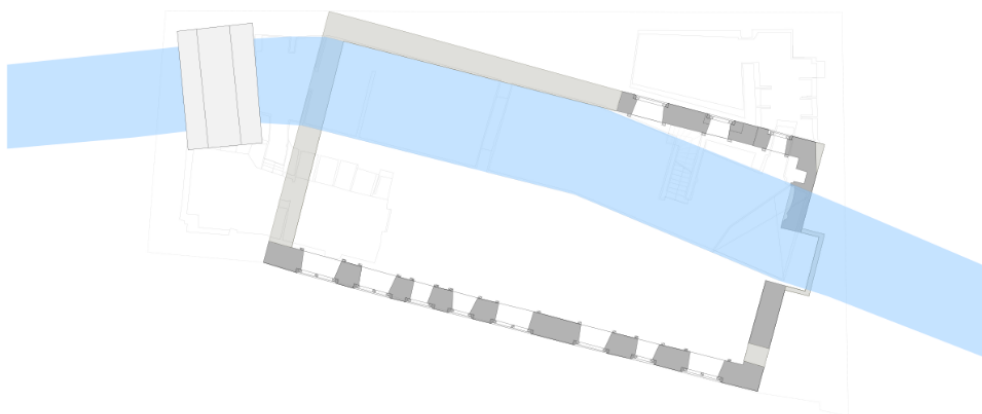
Mur médiéval supprimé au rez-de-chaussée

Ancien pont situé au rez-de-chaussée

Bief ou Rivelette

Plan du sous-sol

Rose des vents



Durant les temps modernes, un terrassement de plus de deux mètres de profondeur a été effectué entre l'intérieur et l'extérieur de l'édifice du XIV^{ème} siècle, afin de niveler le terrain. Ainsi, ce canal souterrain a été conservé sous l'ensemble des maisons actuelles, pour se transformer en cave.

Puis par la suite, au XIX^{ème} siècle il est réaménagé afin d'être relié au réseau d'égouts publics. (Henrard & Van Der Sloot, 2007).

Coupe façade intérieure du pignon oriental

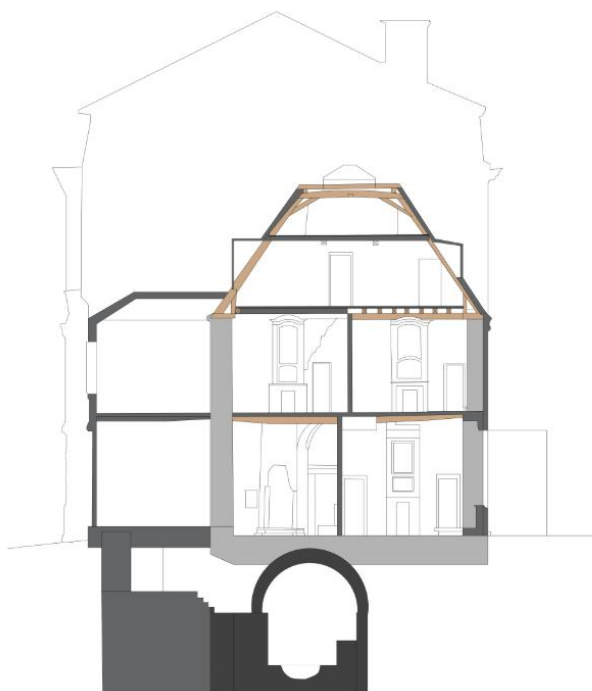
Coupe façade intérieure du pignon oriental

Emplacement du bief

Bâtiment médiéval

Bâtiment annexe moderne

Annotations



L'édifice du XIV^{ème} siècle

Au XIV^{ème} siècle, d'importants travaux ont été effectués. Grâce à l'analyse dendrochronologique, le service de l'archéologie a pu dater ces étapes en deux temps.

La première phase datée entre 1363 et 1377d, correspond à la mise oeuvre des façades et de la charpente, sous l'abbatit de l'abbé Helin de Meffe (1361-1372). Le chantier s'interrompt en 1369 à la suite d'un incendie. Aucun dégât du sinistre n'a été identifié dans l'édifice, mais l'arrêt du chantier est bien attesté (Bolle et al., 2008).

Plus tard entre 1374 et 1388d, les travaux reprennent sous son successeur Nicolas du Jardin, connu pour la rénovation de l'infirmerie entre 1372 et 1393, avec la mise en place des aménagements intérieurs, notamment les planchers et les pans de bois (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

L'enveloppe

L'édifice du XIV^{ème} siècle accueille deux niveaux de vie sous combles. Actuellement, seules trois façades en calcaire de Meuse, construites en grand appareil, subsistent. Elles étaient doublées d'un parement intérieur en tuffeau et percées à l'origine de baies surmontées de linteaux en forme de mitre. Modifiées au fil des siècles, leur morphologie a pu être restituée grâce aux encadrements en pierre moulurées encore visibles (Bolle & Léotard, 2002), ainsi qu'à l'analyse des discontinuités dans le dessin des assises du parement et des traces de décharges ou de négatifs (Bolle & Léotard, 2012)



"L'édifice du XIVème vue sud-est, Infographie: O. Gilgean SPW-DG04"

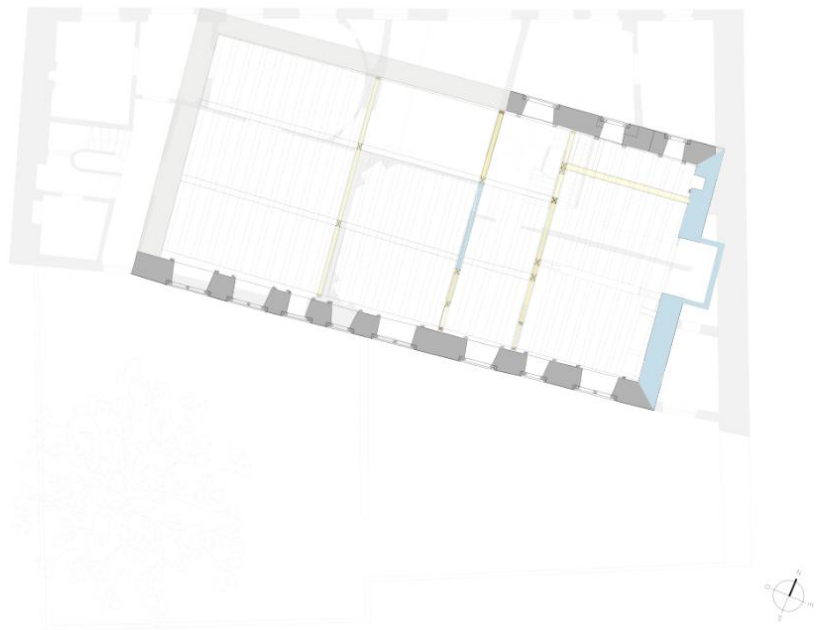
- Le pignon oriental
- La façade méridionale
- La façade septentrionale

Le pignon oriental

Plan du rez-de-chaussée

Plan RDC actuel	<input type="text" value="0,1"/>	<input type="range"/>
Structure	<input type="text" value="1"/>	<input type="range"/>
Mur médiéval existant	<input type="text" value="1"/>	<input type="range"/>
Mur médiéval supprimé	<input type="text" value="0,5"/>	<input type="range"/>
Pignon oriental	<input type="text" value="1"/>	<input type="range"/>
Rose des vents	<input type="text" value="1"/>	<input type="range"/>
Numéros des maisons	<input type="text" value="0"/>	<input type="range"/>
texte	<input type="text" value="0"/>	<input type="range"/>

1



Au Moyen-Age, les infirmeries monastiques comprenaient souvent un oratoire, c'est-à-dire un petit lieu de prière permettant aux moines malades de se recueillir. Celui-ci était généralement orienté vers l'est, direction symbolique liée à la lumière, à l'élévation du souhait de l'âme et aux croyances religieuses de l'époque (Bolle et al., 2008).

Dans le bâtiment étudié, l'oratoire est une petite pièce à un seul niveau, construite contre le pignon oriental de l'infirmerie. Elle est facilement reconnaissable à sa grande ouverture arquée et à sa toiture à deux versants. Juste à côté, la présence d'un lavabo confirme qu'il s'agissait d'un espace sacré, réservé à la prière et aux gestes rituels.

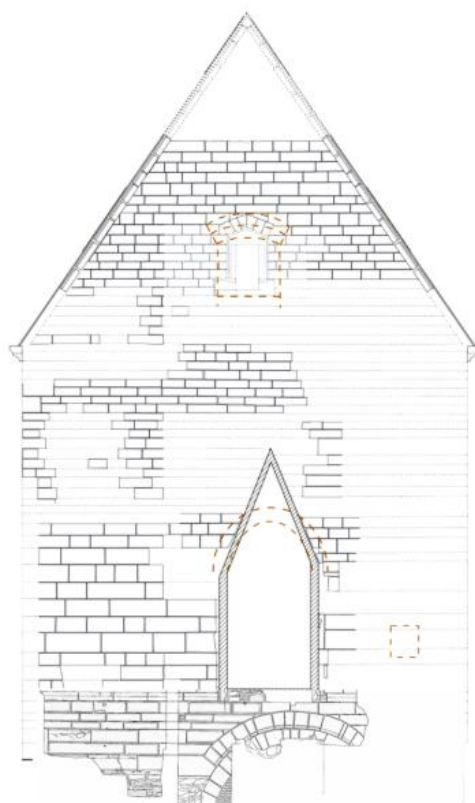
Cet oratoire a été utilisé jusqu'au XVIII^{ème} siècle. A cette époque, la grande baie arquée donnant sur l'intérieur est réaménagée et décorée dans le style Louis XV (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

A l'étage, la pièce située au-dessus pourrait avoir servi de chambre pour les malades, selon les recherches menées par les archéologues (Bolle & Léotard, 2014).

Plus tard, à l'époque des Lumières, une large ouverture trapézoïdale est percée dans le plancher, du premier étage, directement au-dessus de l'oratoire. Ce dispositif pourrait avoir permis de maintenir un contact visuel ou symbolique avec le sanctuaire (Bolle, Coura & Léotard, 2016).








Elévation du pignon oriental, il est à la base de son pendant

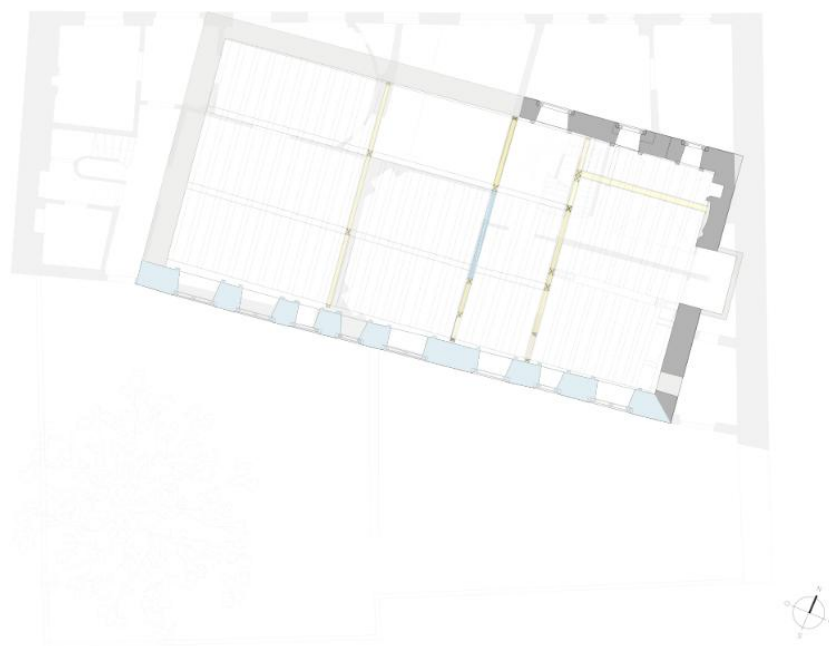
Pignon oriental	<input type="text" value="1"/>	<input type="range" value="1"/>
Annotation	<input type="text" value="0"/>	<input type="range" value="0"/>



"Infographie: O. Gilgean SPW-DG04"

La façade méridionale

Plan RDC actuel	<input type="text" value="0,1"/>	
Structure	<input type="text" value="1"/>	
Mur médiéval existant	<input type="text" value="1"/>	
Mur médiéval supprimé	<input type="text" value="0,5"/>	
Façade méridionale	<input type="text" value="1"/>	
Rose des vents	<input type="text" value="1"/>	
Numéros des maisons	<input type="text" value="0"/>	



Autrefois, dans le courant du XIV^{ème} siècle, la façade méridionale était tournée vers un bras de Meuse et bénéficiait d'un statut plus importante, avec une technique de taille de la pierre plus raffinée que sa façade opposée. Cette hiérarchisation témoigne d'une volonté de soigner particulièrement ce qui était visible depuis l'extérieur de l'abbaye.

Cependant, ce statut de façade a été inversé avec la façade septentrionale à la suite du démantèlement de l'abbaye, à la fin du XVIII^{ème} siècle et de l'aménagement successif d'une rue et l'installation d'une place au lieu du cloître. (Bolle & Léotard, 2012).

De plus, suite à la sécularisation en 1785, le quartier des malades est divisé en deux maisons canoniales et soumis à de nouvelles limites parcellaires.

En conséquence, l'élévation méridionale a dû être recomposée afin de créer un ensemble harmonieux et équilibré, tout en respectant ces nouvelles limites parcellaires et en s'intégrant à la chaîne d'angles d'origine médiévale et à sa corniche.

Cette cohérence architecturale a été possible grâce à un tracé régulateur moderne qui organise la composition de la façade, en tenant compte de la position du sol, de la limites du fronton, ainsi que de l'agencement et des dimensions des fenêtres. (Bolle & Léotard, 2014)

Cette observation met également en évidence le tracé régulateur médiéval. En effet, l'enveloppe de l'ancienne infirmerie des moines présente des proportions simples: son emprise au sol correspond à deux carrés de 10,79 m de côté, soit 38 pieds de 28,4 cm, formant ainsi un rectangle orienté est-ouest. Ce principe se retrouve en élévation, donnant un parallélépipède rectangle, coiffé d'une toiture en bâtière, délimitée par des pignons droits, ainsi qu'à des éléments de détails des fenêtres (Bolle, Coura & Léotard, 2016)

Pour aller plus loin dans l'explication de l'unité de mesure du pied ☒

L'unité de mesure du pied de 28,4 cm se retrouve dans les ouvrages gothiques en milieu urbain à Liège, notamment dans l'ancienne infirmerie. Mais a été abandonnée durant la première moitié du XVI^{ème} siècle et remplacée par deux autres unités. Le pied de Saint-Hubert (29,47cm) était destiné à l'architecture, tandis que le pied de Saint-Lambert (29,18cm) servait pour les mesures agraires et linéaires.

Le pied de Saint-Lambert a notamment été utilisé lors de la transformation de l'élévation méridionale de l'infirmerie entre 1551 et 1561 (Bolle & Léotard, 2014).

L'étude des différentes unités de mesure permet aussi de mieux dater les transformations et de comprendre leur contexte historique

L'utilisation du pied a constitué une technique largement employée jusqu'à la fin du XVIII^{ème} siècle. Par la suite, le système métrique décimal a été inventé, à la suite des réformes issues de la Révolution Française, et utilisé dès le début du XIX^{ème} siècle (Bolle & Léotard, 2012).

L'organisation spatiale

Concernant l'organisation des espaces, la partie occidentale (situé au n°10 actuel) se compose de grandes pièces, tandis que la partie orientale (situé au n°9 actuel) rassemble des pièces plus petites, articulées autour d'un couloir transversal, situé dans la troisième travée (Bolle et al., 2008).

La structure interne et l'organisation spatiale peuvent être restituées au rez-de-chaussée, dans la partie orientale, grâce aux nombreux vestiges des planchers, des cloisons et des battants de porte

Elévation sud

Opacité de la
façade remaniée
après la
sécularisation

0,3

Essai de
reconstitution de la
façade au XIV^{ème}
siècle

0,5

Tracer régulateur

0



Infographie: A. Mélon et J.-F. Lemaire, SPW-DG04

Plan du rez-de-chaussée

Plan RDC actuel

0

Structure

1

Mur médiéval
existant

1

Mur médiéval
supprimé

0,5

Tracé régulateur

1

circulation verticale
dans la troisième
travée

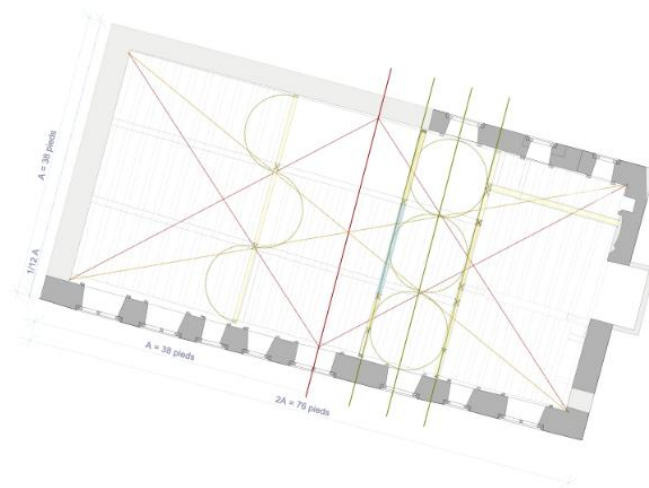
0

Rose des vents

0,5

Numéros des
maisons

0



La composition de la façade

En ce qui concerne l'évolution du style et la composition des façades ainsi que des baies qui les composent, celle de l'infirmerie date de 1363 à 1377 et présente un linteau en mitre. La composition de la façade méridionale a pu être comprise grâce à la restitution des structures intérieures, qui dictent la largeur et le nombre des baies, notamment par la position des pans de bois et des sommiers (Bolle & Léotard, 2014).

Un relevé pierre à pierre a permis d'identifier les discontinuités des assises et ainsi de reconstruire la façade sud du vestige.

L'étude de la partie occidentale du premier étage, correspondant à la façade n°10 et remaniée au XVI^{ème} siècle, s'est révélée plus complexe. En effet, l'analyse du mur de la façade, notamment la chaîne d'angle conservée d'un côté et le parement continu de l'autre, a permis d'identifier la présence d'anciennes ouvertures. L'importance des décrochements relevés laisse penser qu'il s'agissait probablement de plusieurs fenêtres.

Pour la reconstitution des baies de l'étage, elle s'est avérée plus simple, car il s'agirait de baies à simple jour, similaires à celles observées sur la façade nord. Contrairement à celle du rez-de-chaussée, qui ne disposaient pas de modèle précis. Une tentative de reconstitution a néanmoins été proposée, à partir de l'analyse architecturale et métrique des deux façades, ainsi que par comparaison avec l'iconographie de l'époque (Bolle & Léotard, 2012).

Par ailleurs, l'abandon des fenêtres à croisées sur la façade méridionale pourrait s'expliquer par l'instauration, au XVIII^{ème} siècle, d'un impôt basé sur le nombre de vitres. Ce choix pourrait aussi être lié aux progrès techniques dans la fabrication du verre, qui permet d'avoir des vitres plus grandes (Bolle & Léotard, 2014).

Croquis façade côté jardin

Façade en calcaire de Meuse du XIV^{ème} siècle

Arc de décharge ou négatif, indiquant l'emplacement d'anciennes baies du XIV^{ème} siècle

Façade remaniée aux XVI^{ème} siècle

Dernière baie à traverser encore conservée derrière cette bâche



La façade septentrionale

Plan du rez-de-chaussée

Plan RDC actuel

Structure

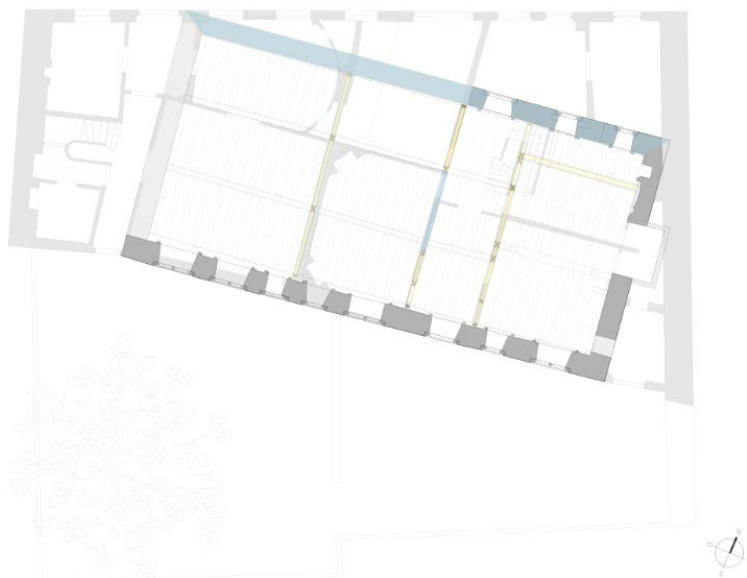
Mur médiéval existant

Mur médiéval supprimé

Façade septentrionale

Rose des vents

Numéros des maisons



Elévation nord

Façades à rue	<input type="text" value="1"/>	<input type="range"/>
Informations sur les façades à rue	<input type="text" value="1"/>	<input type="range"/>
Façade médiévale	<input type="text" value="0"/>	<input type="range"/>
Annotations de la façade médiévale	<input type="text" value="0"/>	<input type="range"/>



Aujourd'hui, la façade médiévale a été partiellement détruite et ne peut-être observée à l'intérieur de la maisons portant le numéro 9. La façade septentrionale est moins harmonieuse suite à l'appropriation de la maçonnerie en grès houiller, associé à la couverture du canal (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

La charpente à typologie mixte ¹

- La charpente classique
- La charpente lambrissée



"Infographie: O. Gilgani SPW-DG04"

La dendrochronologie (une méthode scientifique qui permet de dater le bois grâce aux cernes de croissance) indique que la première phase de construction de la charpente remonte à environ 1363-1377d. Cette charpente, construite en chêne, repose sur la partie supérieure des murs latéraux (appelés « gouttereaux »). Elle est composée de cinq structures principales appelées « fermes », dont deux sont situées près du pignon.

Certaines de ces fermes, ainsi que des éléments secondaires comme les chevrons (pièces de bois inclinées qui soutiennent la couverture) et les sablières (poutres horizontales), sont encore visibles aujourd'hui. Ces éléments sont numérotés de l'est vers l'ouest.

La charpente présente un style mixte. Elle est divisée par une cloison en pan de bois (structure en bois remplie de torchis, un mélange de terre et de paille), fixée à la ferme moulurée située à l'est.

Ces aménagements intérieurs sont réalisés dans une seconde phase datée vers 1347-1388d (Bolle et al., 2008).



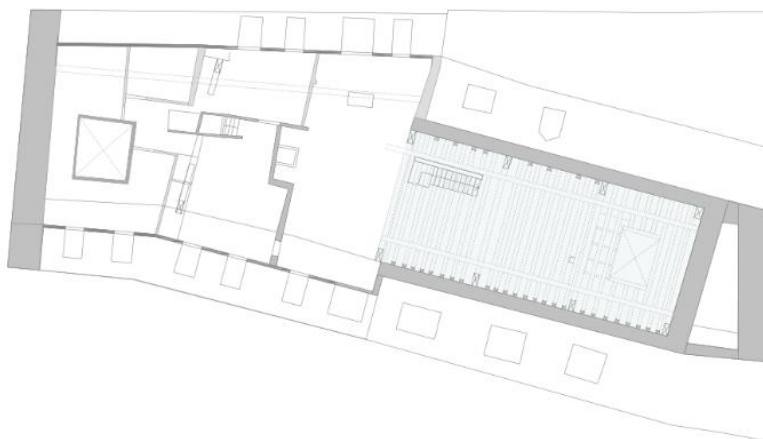
Structure au RDC	<input type="text" value="1"/>	<input type="range" value="1"/>
Marques	<input type="text" value="1"/>	<input type="range" value="1"/>
Premier étage	<input type="text" value="0"/>	<input type="range" value="0"/>
Mur médiéval premier étage	<input type="text" value="0"/>	<input type="range" value="0"/>
mur médiéval supprimé au premier étage	<input type="text" value="0"/>	<input type="range" value="0"/>
Charpente traditionnel	<input type="text" value="0,8"/>	<input type="range" value="0,8"/>
Charpente lambrissée et salle des malades au premier étage	<input type="text" value="0,5"/>	<input type="range" value="0,5"/>
Rose des vents et légende	<input type="text" value="0"/>	<input type="range" value="0"/>
Numéros des maisons	<input type="text" value="1"/>	<input type="range" value="1"/>

La charpente classique

Dans la zone orientale (maison n°9), la composition de la charpente est classique. Les fermes n'étaient pas destinées à être vues. (Bolle et al., 2014)

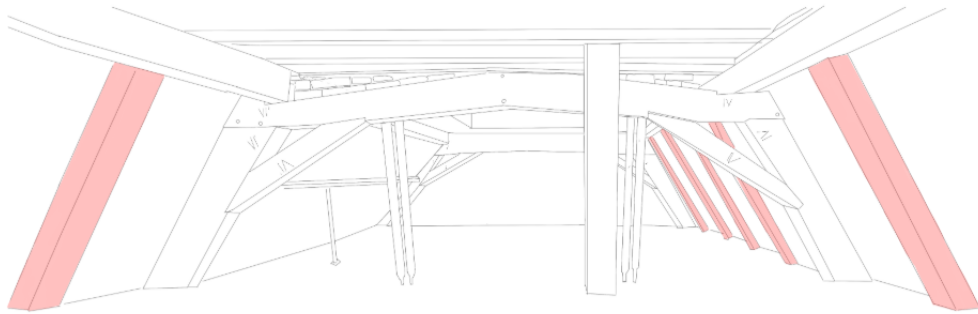
Plan du troisième étage

3ème étage	<input type="text" value="0,5"/>	<input type="range" value="0,5"/>
Charpente traditionnelle	<input type="text" value="0,4"/>	<input type="range" value="0,4"/>



3ème étage	0,5	
Charpente classique	0	
Marquages	1	

Phase 1363-1377
Composants
supprimé: ☐ Poinçons ☐ Jambettes



A man in a brown robe and hood is looking up at a large wooden beam. The beam has a knot hole and some markings on it. The background is a wooden wall.

Notre première ferme et ses chevrons sont placés vers l'est. Elle porte le numéro I, en chiffres romains, sur son côté ouest, marquer par l'outil rainette.

Ensuite, nous avons monté la ferme IV. Mais attention : elle ne porte pas le numéro 4, comme on pourrait le croire...

Cette ferme représente en réalité le numéro 6 !

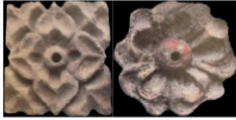
L'apprenti charpentier

La charpente lambrissée

174

La charpente lambrissée

Dans la zone occidentale du bâtiment, une voûte en berceau lambrissée s'étend sur environ 8 mètres de long. Elle était encadrée par deux fermes moulurées, peintes en polychromie et ornées de fleurs sculptées en bois, de forme circulaire ou carrée (Bolle, Coura & Léotard, 2016).



Fleurs en bois décorant la ferme orientale de la charpente lambrissée. Photographie: SPW - DG04

Les lambris (planches de bois décoratives) étaient fixés sur dix chevrons-formant-fermes, qui servaient de support intermédiaire à la voûte. Cette salle, située à partir du premier étage, occupait autrefois une superficie d'environ 74 m² et atteignait une hauteur maximale de 8,5 mètres.

Elle était délimitée à l'est par une cloison en pan de bois remplie de torchis, avec une petite porte au nord, permettant l'accès à la partie orientale de l'édifice.

L'ensemble de ces caractéristiques laisse penser qu'il pourrait s'agir de l'ancienne salle des malades, un espace commun vraisemblablement destiné à l'accueil et au repos. Il est également probable qu'un coin dédié à la prière existait à l'intérieur de cette salle.

Dans la seconde moitié du XVI^e siècle, la partie occidentale de l'édifice (aujourd'hui identifiée comme le n°10) est profondément remaniée. Entre 1551 et 1569, la grande salle lambrissée est divisée par l'ajout de deux niveaux de planchers, entraînant la disparition de la haute salle ouverte d'origine (Bolle, Coura & Léotard, 2016).

Coupe vers l'est au niveau de la ferme XVI

Coupe situation existante	<input type="text" value="1"/>	<input type="range" value="1"/>
Charpente et pan de bois	<input type="text" value="0,2"/>	<input type="range" value="0,2"/>
Marques	<input type="text" value="0"/>	<input type="range" value="0"/>
Texte	<input type="text" value="0"/>	<input type="range" value="0"/>
Mur médiéval et planchers	<input type="text" value="0"/>	<input type="range" value="0"/>
Le charpentier	<input type="text" value="1"/>	<input type="range" value="1"/>

Phase I: 1363-1377d: Charpente lambrissée

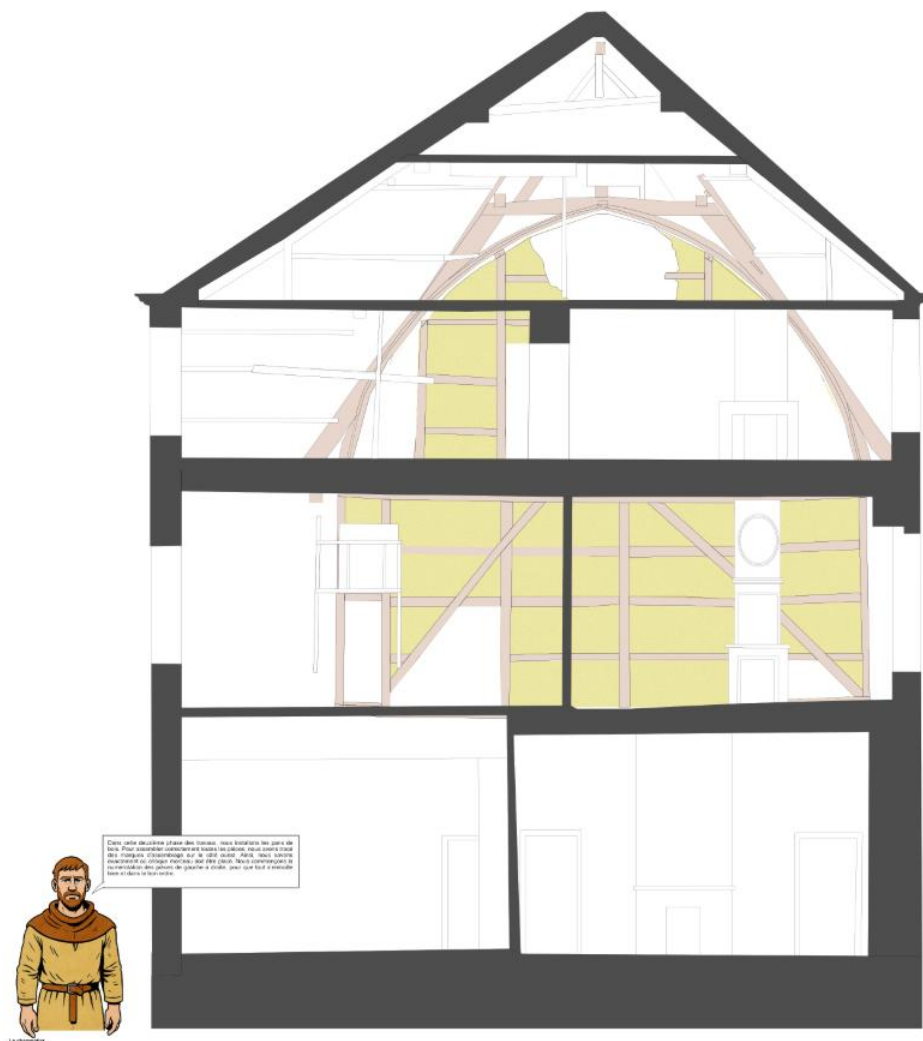
<input type="checkbox"/> Sablières	<input type="checkbox"/> Entrait	<input type="checkbox"/> Faux-entrait	<input type="checkbox"/> Jambettes	<input type="checkbox"/> Poinçon
<input type="checkbox"/> Aisselier cintré	<input type="checkbox"/> Albalétriers	<input type="checkbox"/> Chevrons arbalétriers	<input type="checkbox"/> Chevrons	
<input type="checkbox"/> Pannes	<input type="checkbox"/> Panne faîtière	<input type="checkbox"/> Sous-panne faîtière ou lierne		
<input type="checkbox"/> Lambourdes				

Phase II: 1347-1388d: Pan de bois

<input type="checkbox"/> Lisses basse	<input type="checkbox"/> Poteaux	<input type="checkbox"/> Guettes ou écharpes	<input type="checkbox"/> Entretoises
<input type="checkbox"/> Lisses supérieurs	<input type="checkbox"/> Lisse haute	<input type="checkbox"/> Pièce d'appui	<input type="checkbox"/> Linteau
<input checked="" type="checkbox"/> Torchis			

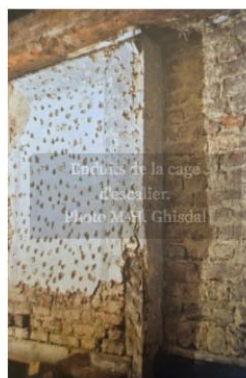
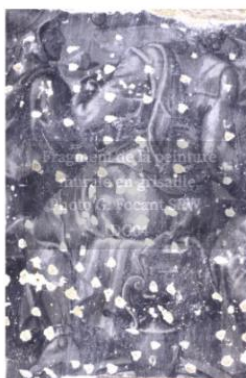
Phase III

<input type="checkbox"/> Structure moderne visible	<input type="checkbox"/> Eléments de maintien actuel
--	--



Les peintures

- Les peintures murales en grisaille du XVIème siècle
- Le Salon Bleu du XVIIIème siècle
- Les peintures en plinthes noires du XVIIIème siècle
- Le Théâtre fin XIXème-début XXème siècle



Les peintures murales en grisaille

À la suite de la campagne de rénovation menée durant la seconde moitié du XVI^e siècle, les nouvelles pièces créées sont richement décorées de peintures murales en grisaille, encadrées par des motifs architecturaux polychromes, occupant la partie supérieure des murs.

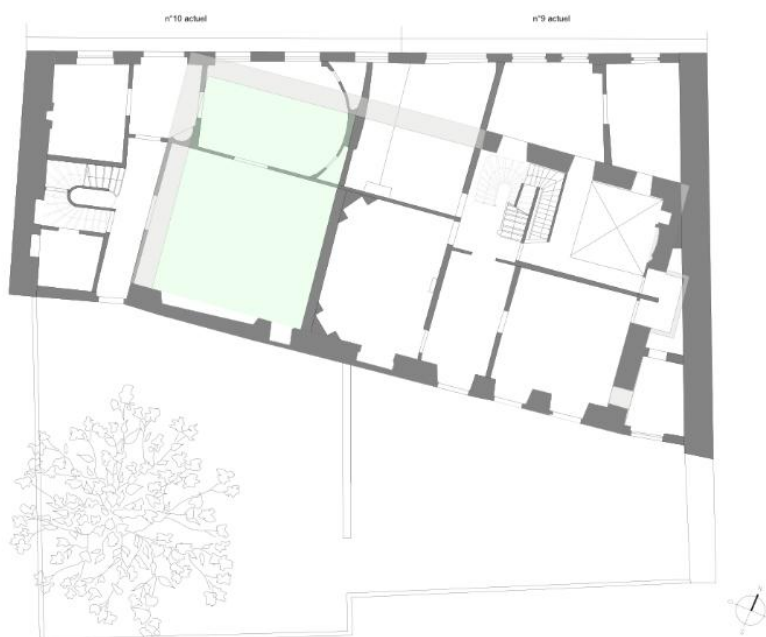
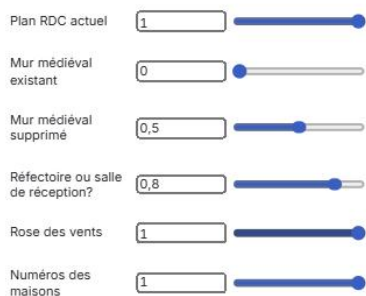
Une découverte majeure a révélé un ensemble artistique inédit sur un mur de refend en brique, situé dans la partie occidentale du rez-de-chaussée. Ces peintures murales, longues de neuf mètres, reprennent des gravures de Maerten Van Heemskerck (1498-1574), publiées en 1558-1559 par Hieronymus Cock. Elles illustrent la parabole des Noces royales (N.T. Matt. 22).

Les panneaux sont entourés de colonnes polychromes en trompe-l'œil, qui donnent l'illusion de soutenir les poutres du plafond et suggèrent la présence d'éléments disparus comme des cloisons ou des appuis de fenêtre.

Ce décor particulier laisse penser que cette salle avait une fonction précise, peut-être un réfectoire pour les malades ou une salle de réception. (Bolle & Léotard, 2014)

Suite à cette découverte, le Ministre en charge du patrimoine a décidé d'annuler le permis d'urbanisme, seulement quelques jours avant la démolition prévue (Bolle & Léotard, 2002). Pour confirmer son importance, des experts étrangers ont été sollicités et ont confirmé le caractère exceptionnel de ce vestige.

Plan du rez-de-chaussée



Le deuxième triptyque sur le mur de refend

Mur refend Photo du SPW-DG04

Apparition du deuxième triptyque

Fragments visibles

Gravures rééditées (1558-1559)

histoire de la parabole des Noces royales



Le premier triptyque sur le mur disparu

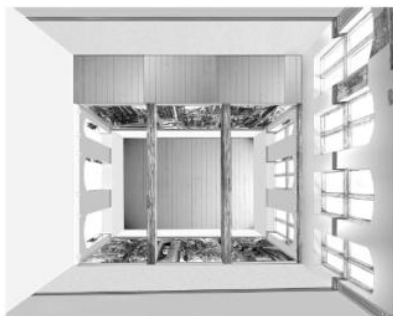
Le peintre derrière cette oeuvre

Premier triptyque

Début de l'histoire de la parabole des Noces royales



"Reconstitution des peintures du XVIème siècle mises au jour au rez-de-chaussée et au premier étage du n°10 actuel "



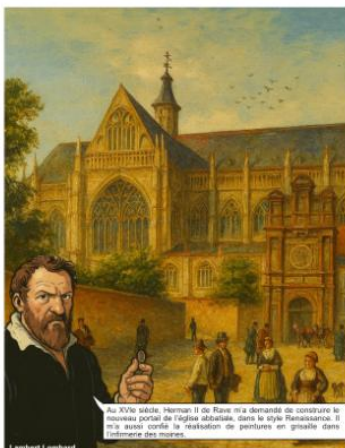
"Dessin et traitement graphique O. Giljean, Serv. Archeologie, Dir. Liège"

Cette illustration propose une restitution des décors du XVI^e siècle. Au rez-de-chaussée, la parabole des Noces royales apparaissait sur le mur du pignon occidental primitif ainsi que sur le mur de refend en brique. Le mur sud, percé de trois fenêtres, présentait également des peintures sur les ébrasements des baies. Sur la seule baie encore conservée, deux apôtres sont représentés en pied : Saint-Paul, identifié par une cartouche, et en vis-à-vis un personnage plus barbu et plus âgé, probablement Saint-Pierre. Ces deux apôtres étaient souvent associés. Il est possible que l'ensemble des douze apôtres ait été représenté dans cette salle, répartis en fonction des ouvertures sur la façade opposée (Bolle, Coura & Léotard, 2016)

Au-dessus de cette pièce, au premier étage, dans la grande salle lambrissée, se trouvent des peintures murales du même style, qui dialoguent avec l'architecture, mais présentant un programme différent. Ces décors comprennent des représentations de blasons, d'inscriptions et de petites figures. Sur la façade sud, côté intérieur, apparaissent des anges en grisaille aux ailes déployées, ainsi qu'un personnage barbu peint sur un trumeau.

Des armoiries ont également été découvertes sur l'intrados d'une fenêtre, encadrées par des colonnes semblables à celles du rez-de-chaussée. Une cartouche y indique l'emplacement disparu des traverses des baies. Une première analyse iconographique a mis en évidence un style romanisant, caractéristique de la seconde moitié du XVI^e siècle. L'analyse dendrochronologique des sommiers en bois, datés entre 1551 et 1569, a permis de confirmer, dans le domaine héraldique, qu'au moins un blason porte les armes d'Herman de Rave, quarantième abbé de Saint-Jacques au milieu du XVI^e siècle. Sur l'intrados des fenêtres de l'étage figurent également les armoiries de la famille de Rave (1551–1583).

Herman de Rave est également connu pour avoir fait construire, en 1558, le portail Renaissance de l'église abbatiale, attribué à Lambert Lombard (Bolle et al., 2008 ; Bolle, Coura & Léotard, 2016).



Consolidation des
enduits des peintures
des peintures du
XVI^e siècle ☒

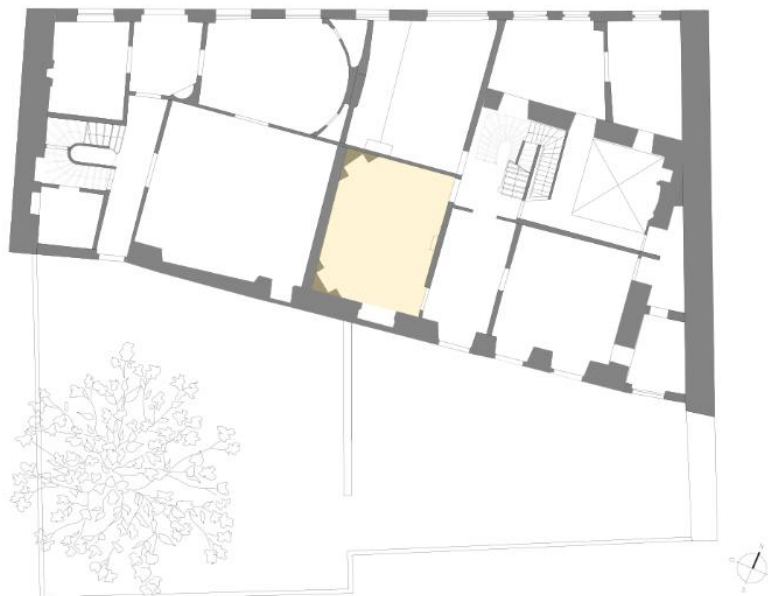
Elles ont subi des dégradations causées par des dépôts de suie provenant d'un conduit de cheminée au niveau du mur oriental. La consolidation de ces enduits a été réalisée au moyen d'injections de coulis à base de chaux (Hydroxyde de calcium), de sable et de caséinate de chaux (Verstralen, 2014).

Le Salon Bleu

Au rez-de-chaussée, cette salle présente un décor homogène datant de la fin du XVIII^e siècle. Douze panneaux peints illustrent des scènes mythologiques et des motifs inspirés de l'Antiquité. L'état des panneaux situés sur les murs nord et sud est jugé préoccupant (Verstralen, 2014).

Plan du rez-de-chaussée

Plan RDC actuel	<input type="text" value="1"/>	<input type="range" value="1"/>
Mur médiéval existant	<input type="text" value="0"/>	<input type="range" value="0"/>
Mur médiéval supprimé	<input type="text" value="0"/>	<input type="range" value="0"/>
Salon Bleu	<input type="text" value="0,6"/>	<input type="range" value="0,6"/>
Rose des vents	<input type="text" value="1"/>	<input type="range" value="1"/>



Consolidation des enduits des peintures de la Salon Bleu ☒

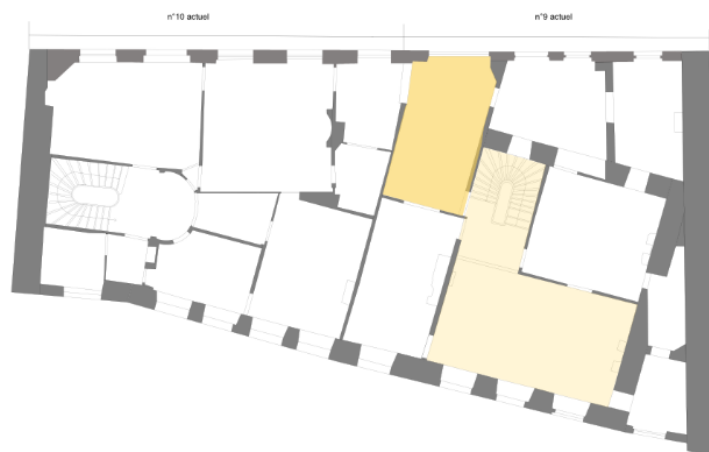
Ces panneaux souffrent d'humidité causant écaillages, craquelures et lacunes. Sur les murs nord et sud, les peintures ont été stabilisées avec un mélange PVA-Tylose appliqué avec du papier japon humidifié, puis aplatis. Tandis que les décors des murs est et ouest ont reçu des injections de coulis de chaux et sable (Verstralen, 2014).

Les peintures en plinthe noire

Dans la cage d'escalier et la chambre du premier étage, des éléments décoratifs datant probablement du XVIII^e siècle sont conservés. Il s'agit d'une plinthe noire associée à de grands panneaux bleus aux motifs crénelés. Leur état de conservation est globalement médiocre (Verstralen, 2014).

Plan du premier étage

Premier étage	<input type="text" value="1"/>	<input type="range" value="1"/>
Mur médiéval premier étage	<input type="text" value="0"/>	<input type="range" value="0"/>
mur médiéval supprimé au premier étage	<input type="text" value="0"/>	<input type="range" value="0"/>
Chambre	<input type="text" value="1"/>	<input type="range" value="1"/>
Cage escalier	<input type="text" value="0,6"/>	<input type="range" value="0,6"/>
Rose des vents et légende	<input type="text" value="0"/>	<input type="range" value="0"/>
Numéros des maisons	<input type="text" value="1"/>	<input type="range" value="1"/>



Consolidation des
enduits des
peintures en
plinthe noir ☒

Ces décors sont en mauvais état, présentant des enduits fissurés et des peintures poudreuses. La première partie de la restauration a consisté à un dépoussiérage, puis à la fixation de la couche de peinture à l'aide de Tylose puis l'encollage du papier japon humidifié par un mélange d'eau et d'alcool. La seconde partie de restauration a permis de consolider les enduits par injections de coulis de chaux et de sable (Verstralen, 2014).

Le Théâtre

Cette pièce au rez de chaussée présente un décor réalisé entre la fin du XIX^e siècle et le début du XX^e siècle. Le mur oriental abrite une scène, tandis que les murs nord, sud et ouest sont ornés de grands panneaux décoratifs (Verstralen, 2014).

Plan du rez-de chaussée

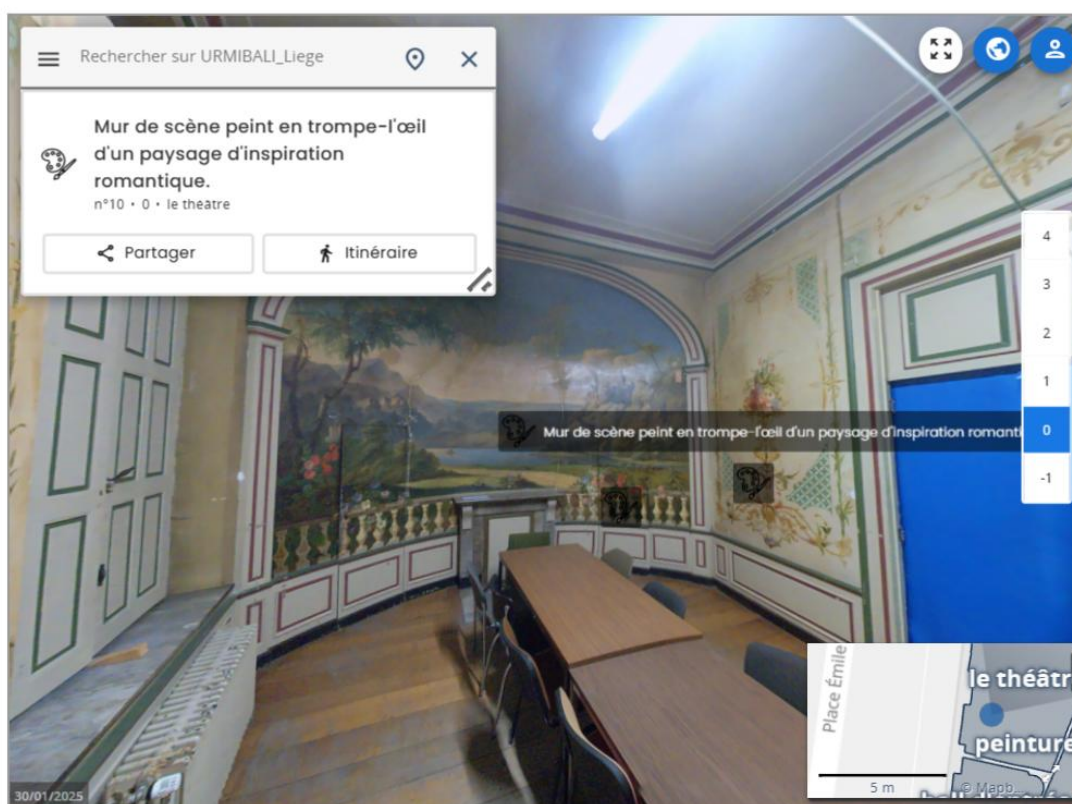
Plan RDC actuel	<input type="text" value="1"/>	<input type="range" value="1"/>
Mur médiéval existant	<input type="text" value="0"/>	<input type="range" value="0"/>
Mur médiéval supprimé	<input type="text" value="0"/>	<input type="range" value="0"/>
Pièce théâtre	<input type="text" value="1"/>	<input type="range" value="1"/>
Réfectoire ou salle de réception?	<input type="text" value="0"/>	<input type="range" value="0"/>
Rose des vents	<input type="text" value="1"/>	<input type="range" value="1"/>



Consolidation des
enduits peints de la
salle du Théâtre ☒

Des fissures de soulèvements ont été stabilisées avec des injections de Ledan TB1 , tandis que les grandes fissures ont été comblées avec un mortier de chaux et sable. Les portes marouflées ont, quant à elles, été consolidées à l'aide d'un adhésif acrylique (Verstralen, 2014).

Visite virtuelle



 [Accès à la maquette NavVis IVION](#)

La collecte de données

Pour concevoir la maquette 3D des maisons sises n°9 et 10 sur la plateforme NavVis IVION, des relevés ont été effectués avec l'outil NavVis VLX deuxième génération. Cet outil utilise la technologie du SLAM (Localisation et cartographie simultanée) et permet de faire de la cartographie intérieure. Autrement dit, ce principe s'inspire de la robotique et peut se trouver sous différentes formes. Dans le cas du NavVis VLX deuxième génération, c'est un système à positionner sur le dos de l'utilisateur, avec une ceinture pour répartir son poids de 8,7 kg. Il est équipé de deux capteurs LiDAR, de quatre caméras, d'un logiciel SLAM et d'une unité de mesure inertielle (IMU). Un écran tactile offre des informations en temps réel sur ce qui est en train d'être scanné, directement sur une carte (NavVis, 2024).

Un premier relevé a été effectué l'année passée avec le même outil par A. Schreurs et L. Moray, dans le cadre du projet URMIBALI. Ce projet a pour but d'étudier les bâtiments historiques et traditionnels liégeois, afin d'obtenir des connaissances sur les matériaux présents et sur le flux de déchets générés des opérations de réhabilitation énergétique (Trachte et al., 2025). Le second relevé, réalisé est dans le cadre d'un mémoire sur l'utilisation de plateforme de médiation web pour communiquer le patrimoine. Ce relevé a permis de mieux comprendre le fonctionnement de l'outil, du site et de compléter les données existantes.



Bibliographie

Bolle C., & Léotard J.-M. (2002). Les vestiges des bâtiments claustraux de l'abbaye de Saint-Jacques à Liège sauvés in extremis. *Bulletin de liaison Icomos Wallonie-Bruxelles*, 11, 1-2.

Bolle, C., Coura, G., & Léotard, J.-M. (2003). Les vestiges des bâtiments claustraux de l'abbaye de Saint-Jacques à Liège (Lg.). *Archaeologia Mediaevalis*, 26, 93-95.

Bolle C., & Léotard J.-M. (2006). Liège/Liège : conservation des bâtiments claustraux de l'ancienne abbaye de Saint-Jacques. *Chronique de l'Archéologie Wallonne*, 13, 107-171.

Bolle, C., Charlier, J.-C., Coura, G., & Léotard, J.-M. (2008). Les vestiges des bâtiments conventuels de l'ancienne abbaye de Saint-Jacques. Les dossiers de l'Institut du Patrimoine Wallon, 7, 43-58.

Bolle, C., & Léotard, J.-M. (2008a). Les pans-de-bois médiévaux de l'ancienne infirmerie de l'abbaye de Saint-Jacques à Liège. <Dossier de la Commission Royale des Monuments, Sites et Fouilles, 12, 257-266.

Bolle C., & Léotard J.-M. (2012). Finalités et enjeux des relevés graphiques dans le cadre des études archéologiques des bâtiments. *Thema & Collecta*, 2, 62-71.

Bolle C., & Léotard J.-M. (2014). L'archéologie des bâtiments à Liège et le centre d'archéologie du bâti. In : Bolle C., Coura G. & Léotard J.-M., (dir.), L'archéologie des bâtiments en question, un outil pour les connaître, les conserver et les restaurer, actes du colloque international, Liège 10-11 novembre 2010, Namur (Etudes et Documents, Archéologie, 35), 291-315. https://www.academia.edu/37310830/E_D35_Archeobat_Bolle_et_al291_315

Bolle, C., Coura, G., & Léotard, J.-M. (2016). L'infirmerie des moines, dernier vestige des bâtiments conventuels. In Allart, D., & al. (dir.). L'église Saint-Jacques à Liège *Templum pulcherrimum: une histoire, un patrimoine*. Institut du Patrimoine wallon, pp. 67-77

Bolle, C., & Léotard, J.-M. (2014). Contribution des recherches archéologiques à la connaissance de l'architecture civile liégeoise. In M. Dosogne (Dir.), L'archéologie en Wallonie : Les Temps modernes et l'époque contemporaine. L'archéologie des conflits, des mondes urbain et rural (Carnets du Patrimoine, 117, pp. 44-46). Namur.

Henrard, D., & Van Der Sloot, P. (2007). Liège/Liège : fouilles des maisons sises place Emile Dupont, nos 9 et 10. *Chronique de l'Archéologie Wallonne*, 14, 121-123.

Verstraelen, N. (2014a). Monitoring et conservation préventive à Liège sur les sites de l'archéoforum et du centre wallon d'archéologie du bâti (CWAB). In Bolle, C., Coura, G., & Léotard, J. M. (dir.), L'archéologie des bâtiments en question : un outil pour les connaître, les conserver et les restaurer. Institut du Patrimoine wallon, pp. 171 – 186.

Van Rymbeke, M., Carré, C., & Billen, R. (2012). L'existant et l'ayant existé. Documenter le patrimoine dans la diachronie. *Thema & Collecta*, 2, 43-51.

Verstraelen, N. (2014b). Belgique/Liège/Liège. Mesures conservatoires au centre wallon d'archéologie du bâti. In Bolle, C., Coura, G., & Léotard, J. M. (dir.), L'archéologie des bâtiments en question : un outil pour les connaître, les conserver et les restaurer. Institut du Patrimoine wallon, pp. 370 – 377.

Trachte, S., Romboux, A., Noël, O., Schreurs, A., Sosnowska, P., & Hallot, P. (2025, February). Projet URMIBALI : Comment les outils numériques de documentation du patrimoine peuvent renforcer la connaissance et le réemploi des matériaux constituant le bâti traditionnel ancien, dans une approche d'Urban Mining. In *Journée de la recherche de l'Unité de Recherche Art Archéologie et Patrimoine*.

NavVis. (2024, septembre). Fiche de données NavVis VLX2. Consulté sur <https://fr.navvis.com/resources/specifications/navvis-vlx-2>

15.3 Annexe 3: Ensemble des lignes de code exporté du notebook.

(pour des raisons d'optimisation d'espace, la taille de police a volontairement été réduite).

```
function _1(html){return(
html.html`<h1 id="top">L'ancienne infirmerie des moines de l'abbaye de Saint-Jacques à Liège</h1>
<ul>
<li>
<a href="#un_trésor_caché">Un trésor caché</a>
<ul>
<li>
<a href="#une_trace_oubliée_resurgit_à_la_place_Emile_Dupont"> Une trace oubliée resurgit à la place Emile Dupont
</li>
</ul>
</li>
<li>
<a href="#Jalon_historique"> Jalon historique
</a>
</li>
</ul>
</li>
<li>
<a href="#Les_découvertes_sur_les_maisons_sises"> Les découvertes sur les maisons sises n°9 et 10
</a>
<ul>
<li>
<a href="#Les_structures_antérieures_aux_XIVème_siècle"> Les structures antérieures au XIVème siècle
</a>
</li>
<li>
<a href="#l_édifice_du_XIVème_siècle">l'édifice du XIVème siècle</a>
<ul>
<li><a href="#L_enveloppe">L'enveloppe</a></li>
<li><a href="#La_charpente">La charpente à typologie mixte</a></li>
</ul>
</li>
<li>
<a href="#Les_peintures">Les peintures</a>
</li>
</ul>
</li>
<li>
<a href="#Maquette_IVION">Visite virtuelle</a>
<ul>
<li><a href="#La_collecte_de_données">La collecte de données</a></li>
</ul>
</li>
<li>
<a href="#Bibliographie">Bibliographie</a>
</li>
</ul>
</li>
))
function _2(html){return(
html.html`<h2 id="un_trésor_caché">Un trésor caché<small><a href="#top"> ⬆️</a></small></h2>
))
function _3(md){return(
md`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
<p>
La ville de Liège, située dans l'est de la Belgique, en Wallonie, s'étend dans la vallée de la Meuse. Elle se distingue par son riche passé politique et religieux, ayant été autrefois la capitale de la principauté de Liège. La ville s'est développée autour d'importants centres religieux, comme les abbayes.
</p>
<p>
Au fil des siècles, de nombreuses traces de son histoire ont disparu, mais certaines réapparaissent peu à peu, témoignant de l'importance de cette ville. Aujourd'hui, elle compte plus de 448 bâtiments classés, remarquables par leur architecture et par la richesse de leur histoire.
</p>
<p>
Parmi tous ces vestiges, un patrimoine exceptionnel refait surface. Cet ancien vestige médiéval, situé place Emile Dupont et caché derrière des façades à rue.
</p>
</div>
)`
))
function _4(html){return(
html.html`<h3 id="une_trace_oubliée_resurgit_à_la_place_Emile_Dupont">Une trace oubliée resurgit à la place Emile Dupont <small><a href="#top"> ⬆️</a></small></h3>
)`
function* _map(html,L)
{
const container = yield html.html`<div style="height: 500px; width: 500px;">
const map = L.map(container).setView([50.6364, 5.5712], 20);
L.tileLayer('https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png', {
attribution: '© <a href="https://www.openstreetmap.org/copyright">OpenStreetMap</a> contributors'
}).addTo(map);
// Créez un marqueur personnalisé avec l'icône 📍
const locateIcon = L.divIcon({
className: 'custom-icon',
html: '📍',
iconSize: [32, 32],
iconAnchor: [16, 32],
popupAnchor: [0, -32]
});
// Contenu HTML du popup avec l'image
const popupContent = `
<div>
<img alt="Photo de la place Emile Dupont n°9 et 10, Liège" style="width:250px; border-radius:8px; margin-top:5px;"/>
</div>
`;
const marker = L.marker([50.6364, 5.5712], { icon: locateIcon }).addTo(map)
    .bindPopup(popupContent);
const locateButton = L.control({position: 'topleft'});
locateButton.onAdd = function() {
const btn = L.DomUtil.create('button', '');
btn.innerHTML = '📍';
btn.style.backgroundColor = 'white';
btn.style.border = '2px solid #ccc';
btn.style.borderRadius = '5px';
btn.style.cursor = 'pointer';
btn.style.padding = '5px';
btn.onclick = () => {
map.setView([50.6365, 5.5711], 20);
marker.openPopup();
};
return btn;
};
locateButton.addTo(map);
return container;
}
function _6(md){return(
md`*A la découverte des maisons sises n°9 et 10*
)`
function _7(html){return(
html.html`<iframe name="eCorpus Voyages" src="https://ethesaurus.uliege.be/ui/scenes/Place20Emile20Dupont/view?lang=EN" width="1200" height="450" allow="xr; xr-spatial-tracking; fullscreen"></iframe>
)`
function _8(md){return(
md`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
En 2001, ces deux maisons étaient destinées à être démolies pour laisser place à un nouvel immeuble. Leur sort semblait scellé, mais suite à des fouilles archéologiques, il s'avère que derrière ces deux façades à rue se cache le dernier bâtiment conventuel épargné de l'abbaye de Saint-Jacques. Grâce à différentes découvertes, le permis d'urbanisation est annulé et l'édifice a pu être conservé, ainsi que de bénéficier d'une procédure de classement en 2003.
</div>
)`
function _photos2001(FileAttachment){return(
FileAttachment('photos_2001.jpg').image({width: 1200})
)`
function _10(md){return(
md`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;font-size: 14px;">*A gauche: Façades à rue des maisons sises place Emile Dupont n°9 et 10 et à droite: Façades arrière des maisons pendant les fouilles*
</div>
)`
function _11(html){return(
html.html`<h3 id="Jalon_historique">Jalon historique <small><a href="#top"> ⬆️</a></small></h3>
)`
function _12(md){return(
md`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
Pour mieux situer cette découverte et son environnement d'autrefois, des annotations ont été ajoutées sur une maquette historique de 1730, qui offre un aperçu de la ville de Liège avant la révolution industrielle. Elle a été conçue entre 1900 et 1910 par Gustave Ruhl, cette maquette a ensuite été numérisée, dans le cadre du projet Virtual Leodium (Van Rymbeke et al., 2012).
</div>
)`
function _13(md){return(
```

```

md**Retour en 1730 avec la maquette de G. Ruhl**
})

function _14(html){return(
html.html<iframe name="eCorpus Voyager" src="https://ethesaurus.uliege.be/ui/scenes/Ruhl/view?lang=FR" width="1200" height="650" allow="xr; xr-spatial-tracking; fullscreen"></iframe>
')}

function _15(md){return(
md<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
Dans l'histoire de la ville de Liège, le patrimoine bâti médiéval est resté longtemps méconnu croyant qu'une grande partie avait disparu suite à différents événements
</div>
')}

function _16(md){return(
md<#En 1468, Charles Le Téméraire*
')}

function _17(FileAttachment){return(
FileAttachment('assets_task_01jttppqb3f4a8ppsJ9w@jrnk_1746080522_img_2.webp').image({width: 200})
')}

function _18(md){return(
md<#En 1785, les anciens moines devenue chanoines avec le pape Pie VI*
')}

function _bdSecularisation1_1(FileAttachment){return(
FileAttachment('bd secularisation @1_1.jpg').image({width: 400})
')}

function _20(md){return(
md** Les nouvelles limites cadastrale de 1827**
')}

function _21(md){return(
md<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
<p>
En outre, les archives de la Période Française, établies lors de la seconde Sécularisation, permettent de mieux comprendre le sort réservé aux bâtiments, notamment la restructuration de l'espace claustral.
</p>
<#p>
Avant 1785, le quartier était sous l'occupation du moine Memans. Cependant, suite à la sécularisation de l'abbaye en collégiale, une séparation du domaine est dressée pour la vente de cinq lots. Ce groupe de cinq lots est à l'origine de propriétés mitoyennes portant le côté méridional de la place Émile Dupont, cadastrée 1385 à 1381 d'est en ouest (Bolle et al., 2008).
</p>
</div>
')}

function _affichagees(Inputs){return(
Inputs.checkbox(
new Map([["Plan cadastral", "image1"], ["Meuse", "image2"], ["Rivelette", "image3"], ["Bâtis", "image4"], ["Remparts d'Avroy et de Saint-Jacques", "image5"], ["Emprise supposée du complexe abbatial", "image6"], ["Abbaye bénédictine de Saint-Jacques", "image7"], ["Emprise hypothétique du cloître", "image8"], ["Tour aux Lapins", "image9"], ["Infirmerie des moines", "image10"], ["Lot terrains non bâtis, vestiges des vergers de l'ancienne abbaye", "image11"], ["Lot 1: partie orientale destinée à l'infirmerie", "image12"], ["Lot 2: partie occidentale destinée au logement d'un moine", "image13"], ["Texte", "image14"]]),
{
value: ["image1", "image2", "image3", "image4", ],
label: ""
}
)
)}

function _23(md){return(
md<#Plan cadastral primitif de 1827*
')}

function _24(affichagees,Plot,html,$0)
{
//Description des couches
const couches = [
{
id: "image1",
nom: "Plan cadastral",
visible: true,
src: "https://i.imgur.com/nrqTKf1.png",
x: 5,
y: 2,
width: 1000,
height: 1000,
opacity: 1
},
{
id: "image2",
nom: "Meuse",
visible: true,
src: "https://i.imgur.com/8kj09AB.png",
x: 5,
y: 2,
width: 1000,
height: 1000,
opacity: 1
},
{
id: "image3",
nom: "Rivelette",
visible: true,
src: "https://i.imgur.com/MoIr4yt.png",
x: 5,
y: 2,
width: 1000,
height: 1000,
opacity: 1
},
{
id: "image4",
nom: "Bâtis",
visible: true,
src: "https://i.imgur.com/9Ts74xw.png",
x: 5,
y: 2,
width: 1000,
height: 1000,
opacity: 1
},
{
id: "image5",
nom: "Remparts d'Avroy et de Saint-Jacques",
visible: true,
src: "https://i.imgur.com/zo17d10.png",
x: 5,
y: 2,
width: 1000,
height: 1000,
opacity: 1
},
{
id: "image6",
nom: "Emprise supposée du complexe abbatiale",
visible: true,
src: "https://i.imgur.com/FSawtDx.png",
x: 5,
y: 2,
width: 1000,
height: 1000,
opacity: 1
},
{
id: "image7",
nom: "Abbaye bénédictine de Saint-Jacques",
visible: true,
src: "https://i.imgur.com/46l33TT.png",
x: 5,
y: 2,
width: 1000,
height: 1000,
opacity: 1
},
{
id: "image8",
nom: "Emprise hypothétique du cloître",
visible: true,
src: "https://i.imgur.com/i8kOm1I.png",
x: 5,
y: 2,
width: 1000,
height: 1000,
opacity: 0.7
},
{
id: "image9",
nom: "Tour aux Lapins",
visible: true,
src: "https://i.imgur.com/40FORSE.png",
x: 5,
y: 2,
width: 1000,
height: 1000,
opacity: 1
},
{
id: "image10",
nom: "Infirmerie des moines",
visible: true,

```

```

        src: "https://i.imgur.com/3oqZaL2.png",
        x: 5,
        y: 2,
        width: 1000,
        height: 1000,
        opacity: 1
    },
    {
        id: "image11",
        nom: "Lot: Terrain non bâti, vestige des vergers de l'ancienne abbaye",
        visible: true,
        src: "https://i.imgur.com/CmDEzqa.png",
        x: 5,
        y: 2,
        width: 1000,
        height: 1000,
        opacity: 1
    },
    {
        id: "image12",
        nom: "Lot 1: partie orientale destiné à l'infirmierie",
        visible: true,
        src: "https://i.imgur.com/Lf8aMlW.png",
        x: 5,
        y: 2,
        width: 1000,
        height: 1000,
        opacity: 1
    },
    {
        id: "image13",
        nom: "Lot 2: partie occidentale destiné au logement d'un moine",
        visible: true,
        src: "https://i.imgur.com/MKyIMEG.png",
        x: 5,
        y: 2,
        width: 1000,
        height: 1000,
        opacity: 1
    },
    {
        id: "image14",
        nom: "Texte",
        visible: true,
        src: "https://i.imgur.com/sge0Flh.png",
        x: 5,
        y: 2,
        width: 1000,
        height: 1000,
        opacity: 1
    }
];

//Gestion de l'affichage des couches visible
couches.forEach(couche => {
    couche.visible = affichages.includes(couche.id);
});

//filtrage des couches visibles
const visibleImages = couches.filter(layer => layer.visible);

//Préparation du tableau avec les couches visibles
const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
    Plot.image([layer], {
        x: d => d.x,
        y: d => d.y,
        width: d => d.width,
        height: d => d.height,
        src: d => d.src,
        opacity: d => d.opacity
    })
);

//affichage avec PLOT
const plot = Plot.plot({
    width: 1000,
    height: 1000,
    x: {axis: null},
    y: {axis: null},
    marks: imageMarks
});

return html`
<style>
.checkbox-container label {
    display: flex;
    align-items: center;
    white-space: nowrap; /* tout reste sur la même ligne */
    text-overflow: ellipsis; /* met des points "..." si trop long */
    margin-bottom: 0.3em;
}
</style>
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">
<div>${plot}</div>
<div style="margin-left: 1px; width: 650px;">
<div class="checkbox-container">
    ${S0}
</div>
</div>
</div>
`;

document.querySelectorAll('[href="#"]').forEach(anchor => {
    anchor.addEventListener("click", function (e) {
        e.preventDefault();
        const targetId = this.getAttribute("href").substr(1);
        const target = document.getElementById(targetId);
        if (target) {
            target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
        }
    });
});

return plot;

function _25(html){return(
html.html`<h2 id="Les_découvertes_sur_les_maisons_sises">Les découvertes sur les maisons sis n°9 et 10<small><a href="#top"> ⬆</a></small></h2>`
)}

function _26(html){return(
html.html`<h3 id="Les_structures_antérieures_aux_XIVème_siècle">Les structures antérieures aux XIVème siècles<small><a href="#top"> ⬆</a></small></h3>`
)}

function _27(md){return(
md`### Le bief`
)}

function _28(md){return(
md`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
<p>
    Au XIIe siècle, sous l'abbé Drogon (1155-1173), un petit canal appelé bief (ou rivette) est creusé pour détourner une partie des eaux de la Meuse. L'eau passait sous une voûte appelée le Trou Saint-Jacques, irrigait les vergers du monastère, faisait fonctionner un moulin à blé, puis retournait dans la Meuse (Bolle, Coura & Léotard, 2003).
</p>
<p>
    Au XIVe siècle, un bâtiment est construit directement au-dessus du bief. Il est légèrement décalé par rapport au bief. Le choix de construire à proximité du cours d'eau permettait une évacuation rapide des eaux usées (Bolle et al., 2008) mais aussi de transporter des matériaux.
</p>
<p>
    Des vestiges de cette structure sont encore visibles aujourd'hui dans les caves du bâtiment actuel, notamment au n°10. Il est possible de voir les arcs en pierre qui soutenaient le bâtiment médiéval. Le bief débouchait sur le pignon oriental de l'édifice, en passant sous un arc orné d'un ressaut chanfreiné. Plus tard, un édifice adjacent est venu masquer cette sortie monumentale (Bolle et al., 2006).
</p>
</div>`
)}

function _29(md){return(
md`Plan du rez-de-chaussée et du sous-sol`
)}

function _opacity4_PLAN_RDC(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Plan du rez-de-chaussée actuel" })
)}

function _opacity4_MUR_MEDIEVAL(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Mur médiéval existant au rez-de-chaussée" })
)}

function _opacity4_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Mur médiéval supprimé au rez-de-chaussée" })
)}

function _opacity_pont(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Ancien pont situé au rez-de-chaussée" })
)}

```

```

function _opacity_bief(inputs){return(
  inputs.range(0, 1), { value: 1, step: 0.1, label: "Bief ou Rivelette" })
})

function _opacity_sous_sol(inputs){return(
  inputs.range(0, 1), { value: 0, step: 0.1, label: "Plan du sous-sol" })
})

function _opacity2_ROSE_DES_VENTS(inputs){return(
  inputs.range(0, 1), { value: 1, step: 0.1, label: "Rose des vents" })
})

function _37(opacity4_PLAN_RDC,opacity4_MUR_MEDIEVAL,opacity4_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER,opacity_sous_sol,opacity_bief,opacity_pont,opacity2_ROSE_DES_VENTS,affichages,Plot)
{
  //Description des couches
  const couches5 = [
    {
      id: "IMAGE RDC",
      nom: "PLAN RDC",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/XeIa8bA.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity:opacity4_PLAN_RDC
    },
    {
      id: "IMAGE MUR MEDIEVAL",
      nom: "MUR MEDIEVAL",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/puj8IBW.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity4_MUR_MEDIEVAL
    },
    {
      id: "IMAGE MUR MEDIEVAL SUPRIME",
      nom: "MUR MEDIEVAL SUPPRIMER",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/YsByawz.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity4_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER
    },
    {
      id: "IMAGE Sous sol",
      nom: "Plan sous sol",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/aBCQT5w.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_sous_sol
    },
    {
      id: "IMAGE bief ",
      nom: "bief",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/bvwy18h.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_bief
    },
    {
      id: "IMAGE pont",
      nom: "Pont",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/E7uxKN9.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_pont
    }
  ],
  {
    id: "IMAGE rose des vents",
    nom: "rose des vents",
    visible: true,
    src: "https://i.imgur.com/1N2uX0g.png",
    x: 5,
    y: 2,
    width: 1000,
    height: 1000,
    opacity: opacity2_ROSE_DES_VENTS
  }
}

//Gestion de l'affichage des couches visible
couches5.forEach(couche => {
  couches5.visible = affichages.includes(couches5.id);
});

//filtrage des couches visibles
const visibleImages = couches5.filter(layer => layer.visible);

//Préparation du tableau avec les couches visibles
const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
  Plot.image([layer], {
    x: d => d.x,
    y: d => d.y,
    width: d => d.width,
    height: d => d.height,
    src: d => d.src,
    opacity: d => d.opacity
  })
);

//affichage avec PLOT
const plot = Plot.plot({
  width: 1000,
  height: 650,
  x: {axis: null},
  y: {axis: null},
  marks: imageMarks
});

document.querySelectorAll('a[href="#"]').forEach(anchor => {
  anchor.addEventListener("click", function (e) {
    e.preventDefault();
    const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
    const target = document.getElementById(targetId);
    if (target) {
      target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
    }
  });
});

return plot;
}

function _38(md){return(
  md`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
    <p>
      Durant les temps modernes, un terrassement de plus de deux mètres de profondeur a été effectué entre l'intérieur et l'extérieur de l'édifice du XIVème siècle, afin de niveler le terrain. Ainsi, ce canal souterrain a été conservé sous l'ensemble des maisons actuelles, pour se transformer en cave.
    <p>
    </p>
    Puis par la suite, au XIXème siècle il est réaménagé afin d'être relié au réseau d'égouts publics. (Henrard & Van Der Sloot, 2007).
  </div>`
)

function _39(md){return(
  md`<Coupe façade intérieur du pignon orientale>`
)

function _opacity_coupe(inputs){return(
  inputs.range(0, 1), { value: 1, step: 0.1, label: "Coupe façade intérieur du pignon oriental" })
})

function _opacity_bief2(inputs){return(
  inputs.range(0, 1), { value: 0, step: 0.1, label: "Emplacement du bief" })
})

```

```

    })

    function _opacity_bati_médiéval(inputs){return(
    Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Bâtiment médiéval" })
    })

    function _opacity_annexe(inputs){return(
    Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Bâtiment annexe moderne" })
    })

    function _opacity_annotation(inputs){return(
    Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Annotations" })
    })

    function _45(opacity_coupe,opacity_bief2,opacity_bati_médiéval,opacity_annexe,opacity_annotation,affichagees,Plot)
    {
        //Description des couches
        const couches13 = [
            {
                id: "IMAGE coupe",
                nom: "coupe",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/ZtE2L2J.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity:opacity_coupe
            },
            {
                id: "IMAGE bief",
                nom: "bief",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/NwxYpUD.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity:opacity_bief2
            },
            {
                id: "IMAGE bâtiment médiéval",
                nom: "bâtiment médiéval",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/kjpUw2L.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity:opacity_bati_médiéval
            },
            {
                id: "IMAGE bâtiment annexe moderne",
                nom: "batiment annexe moderne",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/IIEX5Xa.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity:opacity_annexe
            },
            {
                id: "IMAGE annotation",
                nom: "annotation",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/u7HwoZW.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity: opacity_annotation
            }
        ];

        //Gestion de l'affichage des couches visible
        couches13.forEach(couche => {
            couche13.visible = affichagees.includes(couches13.id);
        });

        //Filtrage des couches visibles
        const visibleImages = couches13.filter(layer => layer.visible);

        //Préparation du tableau avec les couches visibles
        const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
        Plot.image([layer], {
            x: d => d.x,
            y: d => d.y,
            width: d => d.width,
            height: d => d.height,
            src: d => d.src,
            opacity: d => d.opacity
        })
        );

        //Affichage avec PLOT
        const plot = Plot.plot({
            width: 1000,
            height: 800,
            x: {axis: null},
            y: {axis: null},
            marks: imageMarks
        });

        document.querySelectorAll('a[href="#*"]').forEach(anchor => {
            anchor.addEventListener("click", function (e) {
                e.preventDefault();
                const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
                const target = document.getElementById(targetId);
                if (target) {
                    target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
                }
            });
        });

        return plot;
    }

    function _46(html){return(
    html.html`<h3 id="1_édifice_du_XIVème_siècle">L'édifice du XIVème siècle<small><a href="#top"> ⬆️</a></small></h3>
    )}

    function _47(html){return(
    html.html`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
    <p>
    Au XIVème siècle, d'importants travaux ont été effectués. Grâce à l'analyse dendrochronologique, le service de l'archéologie a pu dater ces étapes en deux temps.
    </p>
    <p>
    La première phase datée entre 1363 et 1377d, correspond à la mise oeuvre des façades et de la charpente, sous l'abbat de l'abbé Halin de Meffe (1361-1372). Le chantier s'interrompt en 1369 à la suite d'un incendie. Aucun dégât du
    sinistre n'a été identifié dans l'édifice, mais l'arrêt du chantier est bien attesté (Bolle et al., 2006).
    </p>
    <p>
    Plus tard entre 1376 et 1388d, les travaux reprennent sous son successeur Nicolas du Jardin, connu pour la rénovation de l'infirmerie entre 1372 et 1393, avec la mise en place des aménagements intérieurs, notamment les planchers et les
    pans de bois (Bolle, Coura & Léotard, 2016).
    </p>
    </div>`
    )}

    function _48(html){return(
    html.html`<h4 id="L'enveloppe">L'enveloppe
    <small><a href="#top"> ⬆️</a></small></h4>`
    )}

    function _49(md){return(
    md`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
    L'édifice du XIVème siècle accueille deux niveaux de vie sous combles. Actuellement, seules trois façades en calcaire de Meuse, construites en grand appareil, subsistent. Elles étaient doublées d'un parement intérieur en tuffeau et
    percées à l'origine de baies surmontées de linteaux en forme de mitre. Modifiées au fil des siècles, leur morphologie a pu être restituée grâce aux encadrements en pierre moulurées encore visibles (Bolle & Léotard, 2002), ainsi qu'à
    l'analyse des discontinuités dans le dessin des assises du parement et des traces de décharges ou de négatifs (Bolle & Léotard, 2012)
    </div>`
    )}

    function _50(html){return(
    html.html``
    )}

    function _51(md){return(
    md`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;font-size: 14px">
    *L'édifice du XIVème vue sud-est, Infographie: O. Gilgean SPW -DDBA*
    `
    )}

```



```

    });

    //filtrage des couches visibles
    const visibleImages = couches9.filter(layer => layer.visible);

    //Préparation du tableau avec les couches visibles
    const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
      Plot.image([layer], {
        x: d => d.x,
        y: d => d.y,
        width: d => d.width,
        height: d => d.height,
        src: d => d.src,
        opacity: d => d.opacity
      })
    );

    //affichage avec PLOT
    const plot = Plot.plot({
      width: 1000,
      height: 650,
      x: {axis: null},
      y: {axis: null},
      marks: imageMarks
    });

    document.querySelectorAll('[href="#*"]').forEach(anchor => {
      anchor.addEventListener("click", function (e) {
        e.preventDefault();
        const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
        const target = document.getElementById(targetId);
        if (target) {
          target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
        }
      });
    });

    return plot;
  }

function _64(md){return(
md<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
<p>
  Au Moyen-Âge, les infirmeries monastiques comprenaient souvent un oratoire, c'est-à-dire un petit lieu de prière permettant aux moines malades de se recueillir. Celui-ci était généralement orienté vers l'est, direction symbolique liée à la lumière, à l'élévation du souhait de l'âme et aux croyances religieuses de l'époque (Bolle et al., 2008).
</p>
<p>
  Dans le bâtiment étudié, l'oratoire est une petite pièce à un seul niveau, construite contre le pignon oriental de l'infirmerie. Elle est facilement reconnaissable à sa grande ouverture arquée et à sa toiture à deux versants. Juste à côté, la présence d'un lavabo confirme qu'il s'agissait d'un espace sacré, réservé à la prière et aux gestes rituels.
</p>
<p>
  Cet oratoire a été utilisé jusqu'au XVIIIème siècle. A cette époque, la grande baie arquée donnant sur l'intérieur est réaménagée et décorée dans le style Louis XV (Bolle, Coura & Léotard, 2016).
</p>
<p>
  A l'étage, la pièce située au-dessus pourrais avoir servi de chambre pour les malades, selon les recherches menées par les archéologues (Bolle & Léotard, 2014).
</p>
<p>
  Plus tard, à l'époque des Lumières, une large ouverture trapézoïdale est percée dans le plancher, du premier étage, directement au-dessus de l'oratoire. Ce dispositif pourrait avoir permis de maintenir un contact visuel ou symbolique avec le sanctuaire (Bolle, Coura & Léotard, 2016).
</p>
</div>
))

function _65(md){return(
md<div>
  Élévation du pignon oriental, il est à la base de son pendants
</div>
))

function _opacity_pignon(inputs){return(
inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Pignon oriental" })
)}

function _opacity_annotion15(inputs){return(
inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Annotation" })
)}

function _68(opacity_pignon,opacity_annotion15,affichages,Plot)
{
  //Description des couches
  const couches15 = [
    {
      id: "image pignon",
      nom: "pignon",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/0NBzoku.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_pignon
    },
    {
      id: "annotation",
      nom: "annotation",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/cNFAhd4.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_annotion15
    }
  ];

  //Gestion de l'affichage des couches visible
  couches15.forEach(couche => {
    couches15.visible = affichages.includes(couches15.id);
  });

  //filtrage des couches visibles
  const visibleImages = couches15.filter(layer => layer.visible);

  //Préparation du tableau avec les couches visibles
  const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
    Plot.image([layer], {
      x: d => d.x,
      y: d => d.y,
      width: d => d.width,
      height: d => d.height,
      src: d => d.src,
      opacity: d => d.opacity
    })
  );

  //affichage avec PLOT
  const plot = Plot.plot({
    width: 1000,
    height: 800,
    x: {axis: null},
    y: {axis: null},
    marks: imageMarks
  });

  document.querySelectorAll('[href="#*"]').forEach(anchor => {
    anchor.addEventListener("click", function (e) {
      e.preventDefault();
      const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
      const target = document.getElementById(targetId);
      if (target) {
        target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
      }
    });
  });

  return plot;
}

function _69(md){return(
md<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;font-size: 14px">
  *Infographie: O. Gillean SPW -DG084*
</div>
))

function _70(html){return(
html.html<h5 id="La façade méridionale">La façade méridionale<small>a href="#top2"> </a></small></h5>
))

function _opacity7_PLAN_RDC(inputs){return(
inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Plan RDC actuel" })
)}

```



```

function _opacity4_structure(inputs){return(
  inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Structure" })
)}

function _opacity7_MUR_MEDIEVAL(inputs){return(
  inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Mur médiéval existant" })
)}

function _opacity7_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER(inputs){return(
  inputs.range([0, 1], { value: 0.5, step: 0.1, label: "Mur médiéval supprimé" })
)}

function _opacity_façade_méridionale(inputs){return(
  inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Façade méridionale" })
)}

function _opacity7_ROSE_DES_VENTS(inputs){return(
  inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Rose des vents" })
)}

function _opacity7_NUMEROS_DES_MAISONS(inputs){return(
  inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Numéros des maisons" })
)}

function _78(opacity7_PLAN_RDC,opacity7_MUR_MEDIEVAL,opacity7_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER,opacity_façade_méridionale,opacity4_structure,opacity7_ROSE_DES_VENTS,opacity7_NUMEROS_DES_MAISONS,affichages,Plot)
{
  //Description des couches
  const couches7 = [
    {
      id: "IMAGE RDC",
      nom: "PLAN RDC",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/XeIa0BA.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity:opacity7_PLAN_RDC
    },
    {
      id: "IMAGE MUR MEDIEVAL",
      nom: "MUR MEDIEVAL",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/YXzonKS.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity7_MUR_MEDIEVAL
    },
    {
      id: "IMAGE MUR MEDIEVAL SUPRIME",
      nom: "MUR MEDIEVAL SUPPRIMER",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/Oc0EB7z.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity7_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER
    },
    {
      id: "IMAGE façade méridional",
      nom: "Façade méridionale",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/fwAzdP1.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_façade_méridionale
    },
    {
      id: "IMAGE structure",
      nom: "structure",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/sV3pPEG.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity4_structure
    },
    {
      id: "IMAGE rose des vents",
      nom: "rose des vents",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/1N2UW08.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity7_ROSE_DES_VENTS
    },
    {
      id: "IMAGE numeros des maisons",
      nom: "Numeros des maisons",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/0Wm5cYD.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity7_NUMEROS_DES_MAISONS
    }
  ];

  //Gestion de l'affichage des couches visible
  couches7.forEach(couche => {
    couches7.visible = affichages.includes(couches7.id);
  });

  //Filtrage des couches visibles
  const visibleImages = couches7.filter(layer => layer.visible);

  //Préparation du Tableau avec les couches visibles
  const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
    Plot.image(layer), {
      x: d => d.x,
      y: d => d.y,
      width: d => d.width,
      height: d => d.height,
      src: d => d.src,
      opacity: d => d.opacity
    }
  );

  //affichage avec PLOT
  const plot = Plot.plot({
    width: 1000,
    height: 650,
    x: {axis: null},
    y: {axis: null},
    marks: imageMarks
  });

  document.querySelectorAll('a[href="#"]').forEach(anchor => {
    anchor.addEventListener("click", function (e) {
      e.preventDefault();
      const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
      const target = document.getElementById(targetId);
      if (target) {
        target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
      }
    });
  });

  return plot
}

```



```

    });

    //affichage avec PLOT
    const plot = Plot.plot({
      width: 1000,
      height: 700,
      x: {axis: null},
      y: {axis: null},
      marks: imageMarks
    });

    document.querySelectorAll('[a[href="#*"]').forEach(anchor => {
      anchor.addEventListener("click", function (e) {
        e.preventDefault();
        const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
        const target = document.getElementById(targetId);
        if (target) {
          target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
        }
      });
    });

    return plot;
  }

  function _90(md){return
  md`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;font-size: 14px">
  *Infographie: A. Mèlon et J.-F. Lemaire, SPW -DG&#x2D;
  </div>`
  }

  function _91(md){return
  md`*Plan du rez-de-chaussée*`
  }

  function _opacity14_PLAN_RDC(Inputs){return(
  Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Plan RDC actuel" })
  )}

  function _opacity14_structure(Inputs){return(
  Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Structure" })
  )}

  function _opacity14_MUR_MEDIEVAL(Inputs){return(
  Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Mur médiéval existant" })
  )}

  function _opacity14_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER(Inputs){return(
  Inputs.range([0, 1], { value: 0.5, step: 0.1, label: "Mur médiéval supprimé" })
  )}

  function _opacity14_tracer_regulateur(Inputs){return(
  Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Tracé régulateur" })
  )}

  function _opacity14_circulation_verticale(Inputs){return(
  Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "circulation verticale dans la troisième travée" })
  )}

  function _opacity14_ROSE_DES_VENTS(Inputs){return(
  Inputs.range([0, 1], { value: 0.5, step: 0.1, label: "Rose des vents" })
  )}

  function _opacity14_NUMEROS_DES_MAISONS(Inputs){return(
  Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Numéros des maisons" })
  )}

  function
  _108(opacity14_PLAN_RDC,opacity14_MUR_MEDIEVAL,opacity14_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER,opacity14_tracer_regulateur,opacity14_circulation_verticale,opacity14_structure,opacity14_ROSE_DES_VENTS,opacity14_NUMEROS_DES_MAISONS,affichages,Plot)
  {
    //Description des couches
    const couches14 = [
      {
        id: "IMAGE RDC",
        nom: "PLAN RDC",
        visible: true,
        src: "https://i.imgur.com/XeIa0BA.png",
        x: 5,
        y: 2,
        width: 1000,
        height: 1000,
        opacity:opacity14_PLAN_RDC
      },
      {
        id: "IMAGE MUR MEDIEVAL",
        nom: "MUR MEDIEVAL",
        visible: true,
        src: "https://i.imgur.com/YXzonKS.png",
        x: 5,
        y: 2,
        width: 1000,
        height: 1000,
        opacity: opacity14_MUR_MEDIEVAL
      },
      {
        id: "IMAGE MUR MEDIEVAL SUPPRIME",
        nom: "MUR MEDIEVAL SUPPRIMER",
        visible: true,
        src: "https://i.imgur.com/0c0EB7z.png",
        x: 5,
        y: 2,
        width: 1000,
        height: 1000,
        opacity: opacity14_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER
      },
      {
        id: "IMAGE tracer regulateur",
        nom: "tracer regulateur",
        visible: true,
        src: "https://i.imgur.com/PPvHagE.png",
        x: 5,
        y: 2,
        width: 1000,
        height: 1000,
        opacity: opacity14_tracer_regulateur
      }
    ],

    {
      id: "IMAGE circulation verticale",
      nom: "circulation verticale",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/ZsBw4n1.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity14_circulation_verticale
    },

    {
      id: "IMAGE structure",
      nom: "structure",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/sVJpPEG.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity14_structure
    },

    {
      id: "IMAGE rose des vents",
      nom: "rose des vents",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/IN2UNX0.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity14_ROSE_DES_VENTS
    },

    {
      id: "IMAGE numeros des maisons",

```

```

        nom: "Numeros des maisons",
        visible: true,
        src: "https://i.imgur.com/0wm5cy0.png",
        x: 5,
        y: 2,
        width: 1000,
        height: 1000,
        opacity: opacity14_NUMEROS_DES_MAISONS
    }

}

};

//Gestion de l'affichage des couches visible
couches14.forEach(couche => {
    couches14.visible = affichages.includes(couches14.id);
});

//Filtrage des couches visibles
const visibleImages = couches14.filter(layer => layer.visible);

//Préparation du tableau avec les couches visibles
const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
    Plot.image([layer], {
        x: d => d.x,
        y: d => d.y,
        width: d => d.width,
        height: d => d.height,
        src: d => d.src,
        opacity: d => d.opacity
    })
);

//affichage avec PLOT
const plot = Plot.plot({
    width: 1000,
    height: 600,
    x: {axis: null},
    y: {axis: null},
    marks: imageMarks
});

document.querySelectorAll('a[href="#"]').forEach(anchor => {
    anchor.addEventListener('click', function (e) {
        e.preventDefault();
        const targetId = this.getAttribute('href').substring(1);
        const target = document.getElementById(targetId);
        if (target) {
            target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
        }
    });
});

return plot
}

function _101(md){return(
md += La composition de la façade+
)}

function _102(md){return(
md +=<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
<p>
En ce qui concerne l'évolution du style et la composition des façades ainsi que des baies qui les composent, celle de l'infirmerie date de 1363 à 1377 et présente un linteau en mitre. La composition de la façade méridionale a pu être comprise grâce à la restitution des structures intérieures, qui dictent la largeur et le nombre des baies, notamment par la position des pans de bois et des sommiers (Bolle & Léotard, 2014).
</p>
<p>
Un relevé pierre à pierre a permis d'identifier les discontinuités des assises et ainsi de reconstruire la façade sud du vestige.
</p>
<p>
L'étude de la partie occidentale du premier étage, correspondant à la façade n°10 et remaniée au XVIIIème siècle, s'est révélée plus complexe. En effet, l'analyse du mur de la façade, notamment la chaînes d'angle conservée d'un côté et le parement continu de l'autre, a permis d'identifier la présence d'anciennes ouvertures. L'importance des décrochements relevés laisse penser qu'il s'agissait probablement de plusieurs fenêtres.
</p>
<p>
Pour la reconstitution des baies de l'étage, elle s'est avérée plus simple, car il s'agirait de baies à simple jour, similaires à celles observées sur la façade nord. Contrairement à celle du rez-de-chaussée, qui ne disposaient pas de modèle précis. Une tentative de reconstitution a néanmoins été proposée, à partir de l'analyse architecturale et métrique des deux façades, ainsi que par comparaison avec l'iconographie de l'époque (Bolle & Léotard, 2012)
</p>
<p>
Par ailleurs, l'abandon des fenêtres à croisées sur la façade méridionale pourrait s'expliquer par l'instauration, au XVIIIème siècle, d'un impôt basé sur le nombre de vitres. Ce choix pourrait aussi être lié aux progrès techniques dans la fabrication du verre, qui permet d'avoir des vitres plus grandes (Bolle & Léotard, 2014).
</div>
)

function _opacity_croquis(Inputs){return(
Inputs.range(0, 1, { value: 1, step: 0.1, label: "Croquis façade côté jardin" })
)}

function _opacity_couleur_façade_méridionale(Inputs){return(
Inputs.range(0, 1, { value: 0, step: 0.1, label: "Façade en calcaire de Meuse du XIVème siècle" })
)}

function _opacity_arc_de_décharge_ou_négatif(Inputs){return(
Inputs.range(0, 1, { value: 0, step: 0.1, label: "Arc de décharge ou négatif, indiquant l'emplacement d'anciennes baies du XIVème siècle" })
)}

function _opacity_fenêtres_à_croisée(Inputs){return(
Inputs.range(0, 1, { value: 0, step: 0.1, label: "Façade remaniée aux XVIème siècle " })
)}

function _opacity_baie_traverse(Inputs){return(
Inputs.range(0, 1, { value: 0, step: 0.1, label: "Dernière baie à traverse encore conservée derrière cette bâche" })
)}

function _100(opacity_croquis,opacity_couleur_façade_méridionale,opacity_arc_de_décharge_ou_négatif,opacity_fenêtres_à_croisée,opacity_baie_traverse,affichages,Plot)
{
    //Description des couches
    const couches12 = [
        {
            id: "IMAGE Croquis façade",
            nom: "Croquis façade",
            visible: true,
            src: "https://i.imgur.com/4CeSifm.png",
            x: 5,
            y: 2,
            width: 1000,
            height: 1000,
            opacity:opacity_croquis
        },
        {
            id: "IMAGE façade médiéval",
            nom: "Façade médiéval",
            visible: true,
            src: "https://i.imgur.com/xuc2x4f.png",
            x: 5,
            y: 2,
            width: 1000,
            height: 1000,
            opacity: opacity_couleur_façade_méridionale
        },
    ],
    {
        id: "IMAGE arc de décharge ou négatif",
        nom: "arc de décharge ou négatif",
        visible: true,
        src: "https://i.imgur.com/Tzu3nXI.png",
        x: 5,
        y: 2,
        width: 1000,
        height: 1000,
        opacity: opacity_arc_de_décharge_ou_négatif
    },
    {
        id: "IMAGE fenêtre à croisée",
        nom: "fenêtres a croisée",
        visible: true,
        src: "https://i.imgur.com/MuG59EU.png",
        x: 5,
        y: 2,
        width: 1000,
        height: 1000,
        opacity: opacity_fenêtres_à_croisée
    },
    {
        id: "IMAGE Baie traverse",
        nom: "baie traverse",
        visible: true,
        src: "https://i.imgur.com/ColACdH.png",
        x: 5,
        y: 2,

```

```

        width: 1000,
        height: 1000,
        opacity: opacity_baie_traverse
    }
}

};

//Gestion de l'affichage des couches visible
couches12.forEach(couche => {
    couches12.visible = affichages.includes(couches12.id);
});


//filtrage des couches visibles
const visibleImages = couches12.filter(layer => layer.visible);

//Préparation du tableau avec les couches visibles
const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
    Plot.image(layer, {
        x: d => d.x,
        y: d => d.y,
        width: d => d.width,
        height: d => d.height,
        src: d => d.src,
        opacity: d => d.opacity
    })
);

//affichage avec PLOT
const plot = Plot.plot({
    width: 1000,
    height: 650,
    x: {axis: null},
    y: {axis: null},
    marks: imageMarks
});

document.querySelectorAll('a[href="#"]').forEach(anchor => {
    anchor.addEventListener("click", function (e) {
        e.preventDefault();
        const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
        const target = document.getElementById(targetId);
        if (target) {
            target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
        }
    });
});

return plot
}

function _109(html){return(
html.html`<h5 id="La façade septentrionale">La façade septentrionale<small><a href="#stop2">  </a></small></h5>`
)}

function _110(md){return(
md`*Plan du rez-de-chaussée*`
)}

function _opacity8_PLAN_RDC(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0.2, step: 0.1, label: "Plan RDC actuel" })
)}

function _opacity5_structure(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 2, step: 0.1, label: "Structure" })
)}

function _opacity8_MUR_MEDIEVAL(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Mur médiéval existant" })
)}

function _opacity8_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0.5, step: 0.1, label: "Mur médiéval supprimé" })
)}

function _opacity_façade_septentrionale(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Façade septentrionale" })
)}

function _opacity8_ROSE_DES_VENTS(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Rose des vents" })
)}

function _opacity8_NUMEROS_DES_MAISONS(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Numéros des maisons" })
)}

function _118(opacity8_PLAN_RDC,opacity8_MUR_MEDIEVAL,opacity8_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER,opacity_façade_septentrionale,opacity5_structure,opacity8_ROSE_DES_VENTS,opacity8_NUMEROS_DES_MAISONS,affichages,Plot)
{
    //Description des couches
    const couches8 = [
        {
            id: "IMAGE RDC",
            nom: "PLAN RDC",
            visible: true,
            src: "https://i.imgur.com/XeIa8bA.png",
            x: 5,
            y: 2,
            width: 1000,
            height: 1000,
            opacity:opacity8_PLAN_RDC
        },
        {
            id: "IMAGE MUR MEDIEVAL",
            nom: "MUR MEDIEVAL",
            visible: true,
            src: "https://i.imgur.com/YXzonK5.png",
            x: 5,
            y: 2,
            width: 1000,
            height: 1000,
            opacity: opacity8_MUR_MEDIEVAL
        },
        {
            id: "IMAGE MUR MEDIEVAL SUPPRIME",
            nom: "MUR MEDIEVAL SUPPRIMER",
            visible: true,
            src: "https://i.imgur.com/0c0EB7z.png",
            x: 5,
            y: 2,
            width: 1000,
            height: 1000,
            opacity: opacity8_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER
        },
        {
            id: "IMAGE façade septentrionale",
            nom: "façade septentrionale",
            visible: true,
            src: "https://i.imgur.com/d77131T.png",
            x: 5,
            y: 2,
            width: 1000,
            height: 1000,
            opacity: opacity_façade_septentrionale
        },
    ],
    {
        {
            id: "IMAGE structure",
            nom: "structure",
            visible: true,
            src: "https://i.imgur.com/sVJpPEG.png",
            x: 5,
            y: 2,
            width: 1000,
            height: 1000,
            opacity: opacity5_structure
        },
    },
    {
        {
            id: "IMAGE rose des vents",
            nom: "rose des vents",
            visible: true,
            src: "https://i.imgur.com/1N2uKX0.png",
            x: 5,
            y: 2,
            width: 1000,
            height: 1000,
            opacity: opacity8_ROSE_DES_VENTS
        },
    }
}

```

```

    },
    {
      id: "IMAGE numeros des maisons",
      nom: "numeros des maisons",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/8Wm6cVD.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity8_NUMEROS_DES_MAISONS
    }
  ];

  //Gestion de l'affichage des couches visible
  couches8.forEach(couche => {
    couches8.visible = affichages.includes(couches8.id);
  });

  //filtrage des couches visibles
  const visibleImages = couches8.filter(layer => layer.visible);

  //Préparation du tableau avec les couches visibles
  const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
    Plot.image([layer], {
      x: d => d.x,
      y: d => d.y,
      width: d => d.width,
      height: d => d.height,
      src: d => d.src,
      opacity: d => d.opacity
    })
  );

  //affichage avec PLOT
  const plot = Plot.plot({
    width: 1000,
    height: 650,
    x: {axis: null},
    y: {axis: null},
    marks: imageMarks
  });

  document.querySelectorAll('a[href="#*"]').forEach(anchor => {
    anchor.addEventListener("click", function () {
      e.preventDefault();
      const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
      const target = document.getElementById(targetId);
      if (target) {
        target.scrollToView({ behavior: "smooth" });
      }
    });
  });

  return plot;
}

function _119(md){return(
md="Élévation nord"
)}

function _opacity_façade_à_rue(inputs){return(
inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Façades à rue" })
)}

function _opacity_information(inputs){return(
inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Informations sur les façades à rue" })
)}

function _opacity_façade_septentrionale2(inputs){return(
inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Façade médiévale" })
)}

function _opacity_annotationfaçademédiéval(inputs){return(
inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Annotations de la façade médiévale" })
)}

function _124(opacity_façade_à_rue,opacity_information,opacity_façade_septentrionale2,opacity_annotationfaçademédiéval,affichages,Plot)
{
  //Description des couches
  const couches11 = [
    {
      id: "image façades à rue",
      nom: "Façades à rue",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/QAsS5wP.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_façade_à_rue
    },
    {
      id: "image information",
      nom: "Information",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/nKiuEec.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_information
    },
    {
      id: "image Façade septentrionale médiévale",
      nom: "Façade septentrional médiévale",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/wha29x6.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_façade_septentrionale2
    },
    {
      id: "image annotation facade médiévale",
      nom: "annotation facade médiévale",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/6PBRCAN.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_annotationfaçademédiéval
    }
  ];

  //Gestion de l'affichage des couches visible
  couches11.forEach(couche => {
    couches11.visible = affichages.includes(couches11.id);
  });

  //filtrage des couches visibles
  const visibleImages = couches11.filter(layer => layer.visible);

  //Préparation du tableau avec les couches visibles
  const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
    Plot.image([layer], {
      x: d => d.x,
      y: d => d.y,
      width: d => d.width,
      height: d => d.height,
      src: d => d.src,
      opacity: d => d.opacity
    })
  );

  //affichage avec PLOT
  const plot = Plot.plot({
    width: 1000,
    height: 650,
    x: {axis: null},
    y: {axis: null},
    marks: imageMarks
  });

```

```

    });

    document.querySelectorAll('a[href="'+#'+"]').forEach(anchor => {
      anchor.addEventListener("click", function (e) {
        e.preventDefault();
        const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
        const target = document.getElementById(targetId);
        if (target) {
          target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
        }
      });
    });
  });
}

return plot;

function _125(md){return(
md`
<div style="width: 480px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
Aujourd'hui, la façade médiévale a été partiellement détruite et ne peut-être observée à l'intérieur de la maisons portant le numéro 9. La façade septentrionale est moins harmonieuse suite à l'appropriation de la maçonnerie en grès
houllier, associé à la couverture du canal (Bolle, Coura & Léotard, 2016).
</div>`
);

function _126(html){return(
html.html`<h4 id="La charpente">La charpente à typologie mixte
<small><a href="#top">⬆️</a></small></h4>
<a id="top4"></h4>
<ul>
<li><div style="display: flex; gap: 50px; align-items: center;">
<li><a href="#La charpente classique">La charpente classique</a></li>
<li><a href="#La charpente lambrissée">La charpente lambrissée</a></li>
</li>
</ul>
</div>
);

function _127(html){return(
html.html`
<style>
.photo-charpente {
  position: relative;
  display: inline-block;
}
.photo-container img {
  display: block;
  width: 1200px; /* ta largeur fixe */
  height: auto; /* hauteur automatique */
}
.annotation {
  position: absolute;
  top: 50%; /* milieu vertical,
  background: rgba(0,0,0,0.7);
  color: white;
  padding: 5px 10px;
  border-radius: 4px;
  max-width: 200px;
  text-align: center;
  opacity: 0;
  transition: opacity 0.5s;
  transform: translateY(-50%); /* centrer verticalement */
  pointer-events: none;
}
.photo-charpente:hover .annotation {
  opacity: 1;
}
</style>
<div class="photo-charpente">

<!-- Annotation a -->
<div class="annotation" style="left: 25%;">
  Charpente lambrissée
</div>
<!-- Annotation b -->
<div class="annotation" style="left: 70%;">
  Charpente classique
</div>
</div>
);

function _128(md){return(
md`<div style="width: 480px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;font-size: 14px">
*Infographie: O. Gilgean SPW -D084*
</div>
);

function _129(md){return(
md`<div style="width: 480px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">

<p>
La dendrochronologie (une méthode scientifique qui permet de dater le bois grâce aux cernes de croissance) indique que la première phase de construction de la charpente remonte à environ 1363-1377d. Cette charpente, construite en chêne,
repose sur la partie supérieure des murs latéraux (appelés « gouttereaux »). Elle est composée de cinq structures principales appelées « fermes », dont deux sont situées près du pignon.
</p>
<p>
Certaines de ces fermes, ainsi que des éléments secondaires comme les chevrons (pièces de bois inclinées qui soutiennent la couverture) et les sablières (poutres horizontales), sont encore visibles aujourd'hui. Ces éléments sont numérotés
de 1'est vers l'ouest.
</p>
<p>
La charpente présente un style mixte. Elle est divisée par une cloison en pan de bois (structure en bois remplie de torchis, un mélange de terre et de paille), fixée à la ferme moulurée située à l'est.
</p>
<p>
Ces aménagements intérieurs sont réalisés dans une seconde phase datée vers 1347-1388d (Bolle et al., 2008).
</p>
</div>
);

function _charpentier_1(FileAttachment){return(
FileAttachment("charpentier_1.png").image()
);

function _131(md){return(
md`#Plan du rez-de-chaussée et premier étage`
);

function _opacity_PLAN_RDC(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0.1, step: 0.1, label: "Plan RDC actuel" })
);

function _opacity_MUR_MEDIEVAL(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Mur médiéval existant au RDC" })
);

function _opacity_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Mur médiéval supprimé au RDC" })
);

function _opacity_structure(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Structure au RDC" })
);

function _opacity_marques2(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Marques" })
);

function _opacity_r1(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Premier étage" })
);

function _opacity_r1medieval(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Mur médiéval premier étage" })
);

function _opacity_r1medievalsupp(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "mur médiéval supprimé au premier étage" })
);

function _opacity_charpente_traditionnel(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Charpente traditionnel" })
);

function _opacity_charpente_lambrissée(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Charpente lambrissée et salle des malades au premier étage" })
);

function _opacity_ROSE_DES_VENTS(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Rose des vents et légende" })
);

function _opacity_NUMEROS_DES_MAISONS(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Numéros des maisons" })
);

```



```

    })
    function
    _144(opacity_charpente_traditionnel,opacity_charpente_lambrissée,opacity6_PLAN_RDC,opacity6_MUR_MEDIEVAL,opacity6_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER,opacity_ROSE_DES_VENTS,opacity_r1,opacity_r1médieval,opacity_r1medievalsupp,opacity_marques2,opacity6
    _structure,opacity_NUMEROS_DES_MAISONS,affichagees,Plot)
    {
        //Description des couches
        const couches6 = [
            {
                id: "IMAGE charpente traditionnel",
                nom: "charpente traditionnel",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/R2N13wG.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity: opacity_charpente_traditionnel
            },
            {
                id: "IMAGE charpente lambrissée",
                nom: "charpente lambrissée",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/P3YFFAC.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity: opacity_charpente_lambrissée
            },
            {
                id: "IMAGE RDC",
                nom: "PLAN RDC",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/XeIa8BA.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity: opacity6_PLAN_RDC
            },
            {
                id: "IMAGE MUR MEDIEVAL",
                nom: "MUR MEDIEVAL",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/puJ8IBW.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity: opacity6_MUR_MEDIEVAL
            },
            {
                id: "IMAGE MUR MEDIEVAL SUPRIME",
                nom: "MUR MEDIEVAL SUPPRIMER",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/0c0EB7z.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity: opacity6_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER
            },
            {
                id: "IMAGE rose des vents",
                nom: "rose des vents",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/ExscpVv.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity: opacity_ROSE_DES_VENTS
            },
            {
                id: "IMAGE r+1",
                nom: "r+1",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/6axl8Ab.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity: opacity_r1
            },
            {
                id: "IMAGE r+1 medieval",
                nom: "r+1 medieval",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/moYw9g9.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity: opacity_r1médieval
            },
            {
                id: "IMAGE r+1 medieval supp",
                nom: "r+1 medieval supp",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/IZNaO0H.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity: opacity_r1medievalsupp
            },
            {
                id: "IMAGE marques",
                nom: "marques",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/b82JUf0.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity: opacity_marques2
            },
            {
                id: "IMAGE structure",
                nom: "structure",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/sVjpPE0.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity: opacity6_structure
            },
            {
                id: "IMAGE numeros des maisons",
                nom: "Numeros des maisons",
                visible: true,
                src: "https://i.imgur.com/0Wm5cYD.png",
                x: 5,
                y: 2,
                width: 1000,
                height: 1000,
                opacity: opacity_NUMEROS_DES_MAISONS
            }
        ]
        //Gestion de l'affichabe des couches visible
        couches6.forEach(couche => {
            couches6.visible = affichagees.includes(couches6.id);
        });
        //filtrage des couches visibles
    }
}

```

```

const visibleImages = couches6.filter(layer => layer.visible);

//Préparation du tableau avec les couches visibles
const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
  Plot.image(layer), {
    x: d => d.x,
    y: d => d.y,
    width: d => d.width,
    height: d => d.height,
    src: d => d.src,
    opacity: d => d.opacity
  })
);

//Affichage avec PLOT
const plot = Plot.plot({
  width: 1000,
  height: 600,
  x: {axis: null},
  y: {axis: null},
  marks: imageMarks
});

document.querySelectorAll('[a[href="#*"]').forEach(anchor => {
  anchor.addEventListener("click", function (e) {
    e.preventDefault();
    const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
    const target = document.getElementById(targetId);
    if (target) {
      target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
    }
  });
});

return plot;
}

function _145(html){return(
html.html`<h5 id="La charpente classique">La charpente classique<small><a href="#top4"></a></small></h5>`
)}

function _146(md){return(
md`div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
Dans la zone orientale (maison n°9), la composition de la charpente est classique. Les fermes n'étaient pas destinées à être vues. (Bolle et al., 2014)
</div>
`
)}

function _147(md){return(
md`Plan du troisième étage`
)}

function _opacity_r3(inputs){return(
inputs.range(0, 1, { value: 0.5, step: 0.1, label: "3ème étage" })
)}

function _opacity_emplacementcharpentetraditionnel(inputs){return(
inputs.range(0, 1, { value: 0, step: 0.1, label: "Charpente traditionnelle" })
)}

function _150(opacity_r3,opacity_emplacementcharpentetraditionnel,affichages,Plot)
{
  //Description des couches
  const couches14 = [
    {
      id: "IMAGE R+3",
      nom: "PLAN R+3",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/3hzVt6g.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity:opacity_r3
    },
    {
      id: "IMAGE charpente traditionnel",
      nom: "charpente traditionnel",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/2Ym8Rtz.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_emplacementcharpentetraditionnel
    }
  ];

  //Gestion de l'affichage des couches visible
  couches14.forEach(couche => {
    couches14.visible = affichages.includes(couches14.id);
  });

  //Filtrage des couches visibles
  const visibleImages = couches14.filter(layer => layer.visible);

  //Préparation du tableau avec les couches visibles
  const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
    Plot.image(layer), {
      x: d => d.x,
      y: d => d.y,
      width: d => d.width,
      height: d => d.height,
      src: d => d.src,
      opacity: d => d.opacity
    })
  );

  //Affichage avec PLOT
  const plot = Plot.plot({
    width: 1000,
    height: 600,
    x: {axis: null},
    y: {axis: null},
    marks: imageMarks
  });

  document.querySelectorAll('[a[href="#*"]').forEach(anchor => {
    anchor.addEventListener("click", function (e) {
      e.preventDefault();
      const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
      const target = document.getElementById(targetId);
      if (target) {
        target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
      }
    });
  });

  return plot;
}

function _151(md){return(
md`Croquis du troisième étage dans la maison numéro 9`
)}

function _opacity_3EME_ETAGE(inputs){return(
inputs.range(0, 1, { value: 0.5, step: 0.1, label: "3ème étage" })
)}

function _opacity_CHARPENTE_CLASSIQUE(inputs){return(
inputs.range(0, 1, { value: 0, step: 0.1, label: "Charpente classique" })
)}

function _opacity_MARQUAGES(inputs){return(
inputs.range(0, 1, { value: 0, step: 0.1, label: "Marquages" })
)}

function _affichages2(inputs){return(
inputs.checkbox(
  new Map([
    ["Albalétriers", "image albalétriers"],
    ["Aisselier", "image aisselier"],
    ["Faux-entraits", "image faux-entraits"],
    ["Jambettes", "image jambettes"],
    ["Pannes", "image pannes"]
  ]),
  {
    value:
      ["**"],
  }
)
)
}

```

```

    label: "Phase 1363-1377:"
  }
})
function _affichage3(inputs){return(
  Inputs.checkbox(
    new Map([
      ["Poinçons", "image poinçons"],
      ["Jambettes", "image jambettes supprimer"]
    ]),
    {
      value: [""],
      label: "Phase 1363-1377 Composants supprimé:"
    }
  )
})
function _157(affichage2,affichage3,opacity_3EME_ETAGE,opacity_CHARPENTE_CLASSIQUE,opacity_MARQUAGES,Plot)
{
  const affichages = [...affichage2, ...affichage3];

  //Description des couches
  const couches6 = [
    {
      id: "image 3ème étage",
      nom: "3ème étage",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/0OpKiNn.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_3EME_ETAGE
    },
    {
      id: "image charpente classique",
      nom: "charpente classique",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/XiBQcE2.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_CHARPENTE_CLASSIQUE
    },
    {
      id: "image marquages",
      nom: "Marquages",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/zQx0o2c.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_MARQUAGES
    },
    {
      id: "image faux-entrants",
      nom: "Faux-entrants",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/8Je0F5G.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image albalétriers",
      nom: "Albalétriers",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/Z0oD2p3.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image pannes",
      nom: "Pannes",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/DjKa4o7.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image aisselier",
      nom: "Aisselier",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/BQW5dzC.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image jambettes",
      nom: "Jambettes",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/UxgYEVr.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image poinçons",
      nom: "Poinçons",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/WsdQu4A.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image jambettes supprimer",
      nom: "jambettes supprimer",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/5fHF9MD.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    }
  ];

  //Gestion de l'affichage des couches visible
  couches6.forEach(couche => {
    if (!["image 3ème étage", "image charpente classique", "image marquages"].includes(couche.id)) {
      couche.visible = true;
    } else {
      couche.visible = affichages.includes(couche.id);
    }
  });

  //Filtrage des couches visibles
  const visibleImages = couches6.filter(layer => layer.visible && layer.src);

  //Préparation du tableau avec les couches visibles
  const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
    Plot.image([layer], {
      x: d => d.x,
      y: d => d.y,
      width: d => d.width,
      height: d => d.height,
      src: d => d.src,
      opacity: d => d.opacity
    })
  );

  //affichage avec PLOT
  const plot = Plot.plot({
    width: 1000,

```

```

        height: 400,
        x: {axis: null},
        y: {axis: null},
        marks: imageMarks
    });

    document.querySelectorAll('a[href="#g"]').forEach(anchor => {
        anchor.addEventListener("click", function (e) {
            e.preventDefault();
            const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
            const target = document.getElementById(targetId);
            if (target) {
                target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
            }
        });
    });

    return plot;
}

function _158(md){return(
md`Trace de marque d'assemblage en chiffres romains`
)}

function _charpentier_2(FileAttachment){return(
FileAttachment("charpentier_2.png").image()
)}

function _160(md){return(
md`Photographie: O. Noël, 2024`
)}

function _161(html){return(
html`<h5 id="La charpente_lambrissée">La charpente lambrissée<small><a href="#top4">1</a></small></h5>`
)}

function _162(md){return(
md`
<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
    Dans la zone occidentale du bâtiment, une voûte en berceau lambrissée s'étend sur environ 8 mètres de long. Elle était encadrée par deux fermes moulurées, peintes en polychromie et ornées de fleurs sculptées en bois, de forme circulaire ou carrée (Bolle, Coura & Léotard, 2016).
</div>
`
)}

function _fleurs_1(FileAttachment){return(
FileAttachment("fleurs_1.png").image()
)}

function _164(md){return(
md`Fleurs en bois décorant la ferme orientale de la charpente lambrissée. Photographie: SPW -D084`
)}

function _165(md){return(
md`
<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
`
)}

<p>
    Les lambris (planches de bois décoratives) étaient fixés sur dix chevrons-formant-fermes, qui servaient de support intermédiaire à la voûte. Cette salle, située à partir du premier étage, occupait autrefois une superficie d'environ 74 m² et atteignait une hauteur maximale de 8,5 mètres.
</p>
<p>
    Elle était délimitée à l'est par une cloison en pan de bois remplie de torchis, avec une petite porte au nord, permettant l'accès à la partie orientale de l'édifice.
</p>
<p>
    L'ensemble de ces caractéristiques laisse penser qu'il pourrait s'agir de l'ancienne salle des malades, un espace commun vraisemblablement destiné à l'accueil et au repos. Il est également probable qu'un coin dédié à la prière existait à l'intérieur de cette salle.
</p>
<p>
    Dans la seconde moitié du XVIe siècle, la partie occidentale de l'édifice (aujourd'hui identifiée comme le n°10) est profondément remaniée. Entre 1551 et 1569, la grande salle lambrissée est divisée par l'ajout de deux niveaux de planchers, entraînant la disparition de la haute salle ouverte d'origine (Bolle, Coura & Léotard, 2016).
</p>
</div>
`
)}

function _166(md){return(
md`Coupe vers l'est au niveau de la ferme XVI`
)}

function _opacity_coupe_existante(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Coupe situation existante" })
)}

function _opacity_charpente_pan_de_bois(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0.2, step: 0.1, label: "Charpente et pan de bois" })
)}

function _opacity_marques(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Marques" })
)}

function _opacity2_texte(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Texte" })
)}

function _opacity2_Mur_médiéval(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Mur médiéval et planchers" })
)}

function _opacity_charpentier(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Le charpentier" })
)}

function _affichages5(Inputs){return(
Inputs.checkbox(
    new Map([
        ["Sablières", "image sablières"],
        ["Entrait", "image entrait"],
        ["Faux-entrait", "image2 faux-entrait"],
        ["Jambettes", "image2 jambettes"],
        ["Poinçon", "image poinçon"],
        ["Aisselier cintré", "image aisselier cintré"],
        ["Albalétriers", "image2 albalétriers"],
        ["Chevrons arbalétriers", "image Chevrons arbalétriers"],
        ["Chevrons", "image chevrons"],
        ["Pannes", "image2 pannes"],
        ["Panne faîtière", "image panne faîtière"],
        ["Sous-panne faîtière ou lierne", "image sous-panne faîtière ou lierne"],
        ["Lambourdes", "image Lambourdes"]
    ]),
    {
        value:
            [""],
        label: "Phase I: 1363-1377d: Charpente lambrissée"
    }
)
)}

function _affichages6(Inputs){return(
Inputs.checkbox(
    new Map([
        ["Lisses basse", "image lisse basse"],
        ["Poteaux", "image poteaux"],
        ["Guettes ou écharpes", "image guettes ou écharpes"],
        ["Entretoises", "image entretoises"],
        ["Lisses supérieures", "image lisses supérieures"],
        ["Lisse haute", "image lisse haute"],
        ["Pièce d'appui", "image pièce d'appui"],
        ["Linteau", "image linteau"],
        ["Torchis", "image torchis"]
    ]),
    {
        value:
            ["Torchis", "image torchis"],
        label: "Phase II: 1347-1388d: Pan de bois"
    }
)
)}

function _affichages7(Inputs){return(
Inputs.checkbox(
    new Map([
        ["Structure moderne visible", "image structure moderne"],
        ["Éléments de maintien actuel", "image éléments de maintien"]
    ]),
    {
        value:
    
```

```

    ["*"],
    label: "Phase III "
  }
})
function _176(affichages5,affichages6,affichages7,opacity_charpente_pan_de_bois,opacity2_Mur_médiéval,opacity_coupe_existante,opacity_marques,opacity2_texte,opacity_charpentier,Plot)
{
  const affichages = [...affichages5, ...affichages6,... affichages7];

  //Description des couches
  const couches7 = [

    {
      id: "image sablières",
      nom: "Sablières",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/yivueTb.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image entrail",
      nom: "Entrail",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/QMc9M8T.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image2 faux-entrail",
      nom: "Faux-entrail",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/rxj1a6J.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image2 jambettes",
      nom: "Jambettes",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/8Wgjs8h.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image poinçon",
      nom: "Poinçon",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/3B8FyFQ.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image aisselier cintré",
      nom: "aisseilier cintré",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/4rCE6y.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image2 albalétriers",
      nom: "Albalétriers",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/956oszS.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image chevrons arbalétriers",
      nom: "Chevrons arbalétriers",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/INH83BU.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image chevrons",
      nom: "Chevrons",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/GIseo9K.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image2 pannes",
      nom: "Pannes",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/yC1MQJG.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image panne faîtière",
      nom: "Panne faîtière",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/V144587.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image sous-panne faîtière ou llerne",
      nom: "Sous-panne faîtière ou llerne",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/5XnZPIW.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image Lambourdes",
      nom: "Lambourdes",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/lXy0837.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image lisse basse",
      nom: "lisse basse",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/l1gQ0br.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
  ],

```

```

    {
      id: "image lisses supérieures",
      nom: "Lisses supérieurs",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/kjQUxKL.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image poteaux",
      nom: "Poteaux",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/XROAm1J.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image guettes ou écharpes",
      nom: "Guettes ou écharpes",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/iZSXjan.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image entretoises",
      nom: "Entretoises",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/q96wV0i.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image lisse haute",
      nom: "Lisse haute",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/3gt09Qt.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image linteau",
      nom: "Linteau",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/0nvVQP1.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image pièce d'appui",
      nom: "Pièce d'appui",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/3ZDl37x.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image torchis",
      nom: "Torçhis",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/BphYdJE.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image charpente et pan de bois",
      nom: "Charpente et pan de bois",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/0mISJDr.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_charpente_pan_de_bois
    },
    {
      id: "image Mur médiéval",
      nom: "Mur médiéval",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/RixhXS4.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity2_Mur_médiéval
    },
    {
      id: "image coupe existante",
      nom: "Coupe existante",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/WKDULzp.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_coupe_existante
    },
    {
      id: "image Marques",
      nom: "Marquages",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/9AffmFV.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_marques
    },
    {
      id: "image texte",
      nom: "texte",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/6jV0mf6.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity2_texte
    },
    {
      id: "image structure moderne",
      nom: "Structure moderne",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/mNQtbgc.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
    {
      id: "image éléments de maintien",
      nom: "Elément de maintien",
      visible: false,
      src: "https://i.imgur.com/GTxxkBN.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: 1
    },
  },
  4

```



```

function _opacity3_PLAN_RDC(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Plan RDC actuel" })
)}

function _opacity3_MUR_MEDIEVAL(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Mur médiéval existant" })
)}

function _opacity3_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0.5, step: 0.1, label: "Mur médiéval supprimé" })
)}

function _opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Réfectoire ou salle de réception?" })
)}

function _opacity3_ROSE_DES_VENTS(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Rose des vents" })
)}

function _opacity10_NUMEROS_DES_MAISONS(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Numéros des maisons" })
)}

function _189(opacity3_PLAN_RDC,opacity3_MUR_MEDIEVAL,opacity3_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER,opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION,opacity3_ROSE_DES_VENTS,opacity10_NUMEROS_DES_MAISONS,affichages,Plot)
{
  //Description des couches
  const couches1 = [
    {
      id: "IMAGE RDC",
      nom: "PLAN RDC",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/Xela0bA.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity:opacity3_PLAN_RDC
    },
    {
      id: "IMAGE MUR MEDIEVAL",
      nom: "MUR MEDIEVAL",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/YXzonKS.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity3_MUR_MEDIEVAL
    },
    {
      id: "IMAGE MUR MEDIEVAL SUPRIMER",
      nom: "MUR MEDIEVAL SUPPRIMER",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/Oc0EB7z.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity3_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER
    },
    {
      id: "IMAGE Refectoire ou salle de reception",
      nom: "PIECE Refectoire ou salle de reception",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/elwmpTD.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION
    },
    {
      id: "IMAGE rose des vents",
      nom: "rose des vents",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/1N2uWk0.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity3_ROSE_DES_VENTS
    },
    {
      id: "IMAGE numeros des maisons",
      nom: "Numeros des maisons",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/0WmScYD.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity10_NUMEROS_DES_MAISONS
    }
  ]
}

//Gestion de l'affichage des couches visible
couches1.forEach(couche => {
  couches1.visible = affichages.includes(couches1.id);
});

//filtrage des couches visibles
const visibleImages = couches1.filter(layer => layer.visible);

//Préparation du tableau avec les couches visibles
const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
Plot.image(layer), {
  x: d => d.x,
  y: d => d.y,
  width: d => d.width,
  height: d => d.height,
  src: d => d.src,
  opacity: d => d.opacity
});

//affichage avec PLOT
const plot = Plot.plot({
  width: 1000,
  height: 650,
  x: {axis: null},
  y: {axis: null},
  marks: imageMarks
});

document.querySelector('a[href="#"]').forEach(anchor => {
  anchor.addEventListener("click", function (e) {
    e.preventDefault();
    const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
    const target = document.getElementById(targetId);
    if (target) {
      target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
    }
  });
});

return plot;
}

function _190(md){return(
md`#### La suite narrative des six planches illustrant la parabole 22 de l'Evangile selon Saint-Mathieu`
)}

function _191(md){return(
md`Le deuxième triptyque sur le mur de refend`
)}

function _opacity_Mur_refend(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Mur refend Photo du SPW-DG04" })
)}

function _opacity_Deuxième_triptyque(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Apparition du deuxième triptyque" })
)}

function _opacity_Fragments_visibles(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Fragments visibles" })
)}

```

```

function _opacity_réditées(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Gravures rééditées (1558-1559)" })
)}

function _opacity_TEXTE(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "histoire de la parabole des Noces royales" })
)}

function _197(opacity_Mur_refend,opacity_Deuxième_trityque,opacity_Fragements_visibles,opacity_réditées,opacity_TEXTE,affichages,Plot)
{
  //Description des couches
  const couches5 = [
    {
      id: "IMAGE MUR DE REFEND",
      nom: "MUR DE REFEND",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/paseq8A.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity:opacity_Mur_refend
    },
    {
      id: "IMAGE 3 DERNIERE PLANCHES",
      nom: "3 DERNIERE PLANCHE",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/WJ9x253.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_Deuxième_trityque
    },
    {
      id: "IMAGE PEINTURE GRISAILLE",
      nom: "PEINTURE GRISAILLE",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/jP0oIMt.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_Fragements_visibles
    },
    {
      id: "IMAGE Gravures rééditées",
      nom: "Gravures rééditées",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/LEilHYh.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_réditées
    },
    {
      id: "IMAGE Histoire de la parabole des Noces royales",
      nom: "Histoire de la parabole des Noces royales",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/GRJz19t.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_TEXTE
    }
  ];

  //Gestion de l'affichage des couches visible
  couches5.forEach(couche => {
    couches5.visible = affichages.includes(couches5.id);
  });

  //filtrage des couches visibles
  const visibleImages = couches5.filter(layer => layer.visible);

  //Préparation du tableau avec les couches visibles
  const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
  Plot.image([layer], {
    x: d => d.x,
    y: d => d.y,
    width: d => d.width,
    height: d => d.height,
    src: d => d.src,
    opacity: d => d.opacity
  })
  );

  //affichage avec PLOT
  const plot = Plot.plot({
    width: 1000,
    height: 400,
    x: {axis: null},
    y: {axis: null},
    marks: imageMarks
  });

  document.querySelectorAll('a[href="#"]').forEach(anchor => {
    anchor.addEventListener("click", function (e) {
      e.preventDefault();
      const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
      const target = document.getElementById(targetId);
      if (target) {
        target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
      }
    });
  });

  return plot;
}

function _198(md){return(
md`<Le premier triptyque sur le mur disparue`
)}

function _opacity_peintre(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value:0, step: 0.1, label: "Le peintre derrière cette oeuvre" })
)}

function _opacity_Premier_triptyque(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Premier triptyque" })
)}

function _opacity_Debut_histoire(Inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Début de l'histoire de la parabole des Noces royales" })
)}

function _202(opacity_Premier_triptyque,opacity_Debut_histoire,opacity_peintre,affichages,Plot)
{
  //Description des couches
  const couches10 = [
    {
      id: "IMAGE premier triptyque",
      nom: "Premier triptyque",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/vAcZQLc.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity:opacity_Premier_triptyque
    },
    {
      id: "IMAGE 3 Debut histoire",
      nom: " Debut histoire",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/pFw5CW.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_Debut_histoire
    },
    {
      id: "IMAGE Peintre",
      nom: "PEINTURE Peintre",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/yDIEa2z.png",
      x: 5,
      y: 2,

```

```

        width: 1000,
        height: 1000,
        opacity: opacity_peintre
    }

    });

    //Gestion de l'affichage des couches visible
    couches10.forEach(couche => {
        couches10.visible = affichages.includes(couches10.id);
    });

    //Filtrage des couches visibles
    const visiblesImages = couches10.filter(layer => layer.visible);

    //Préparation du tableau avec les couches visibles
    const imageMarks = visiblesImages.map(layer =>
        Plot.image([layer], {
            x: d => d.x,
            y: d => d.y,
            width: d => d.width,
            height: d => d.height,
            src: d => d.src,
            opacity: d => d.opacity
        })
    );

    //Affichage avec PLOT
    const plot = Plot.plot({
        width: 1000,
        height: 400,
        x: {axis: null},
        y: {axis: null},
        marks: imageMarks
    });

    document.querySelectorAll('[href="#*"]').forEach(anchor => {
        anchor.addEventListener("click", function (e) {
            e.preventDefault();
            const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
            const target = document.getElementById(targetId);
            if (target) {
                target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
            }
        });
    });

    return plot;
}

function _203(md){return(
md`Reconstitution des peintures du XVIème siècle mises au jour au rez-de-chaussée et au premier étage du n°10 actuel`*
)}

function _rdcEtPremierEtagePeinture_1(FileAttachment){return(
FileAttachment("RDC ET PREMIER ETAGE PEINTURE_1.png").image()
)}

function _205(md){return(
md`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;font-size: 14px">
«Dessin et traitement graphique O.Gilgish, Serv. Archeologie, Dir. Liège»
</div>
`
)}

function _206(md){return(
md`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
Cette illustration propose une restitution des décors du XVIe siècle. Au rez-de-chaussée, la parabole des Nocces royales apparaissait sur le mur du pignon occidental primitif ainsi que sur le mur de refend en brique. Le mur sud, percé de
trois fenêtres, présentait également des peintures sur les ébrasements des baies. Sur la seule baie encore conservée, deux apôtres sont représentés en pied : Saint-Paul, identifié par une cartouche, et en vis-à-vis un personnage plus
barbu et plus âgé, probablement Saint-Pierre. Ces deux apôtres étaient souvent associés. Il est possible que l'ensemble des douze apôtres ait été représenté dans cette salle, répartis en fonction des ouvertures sur la façade opposée
(Bolle, Coura à Léotard, 2016).
<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
</div>
`
)}

function _207(md){return(
md`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
Au-dessus de cette pièce, au premier étage, dans la grande salle lambrissée, se trouvent des peintures murales du même style, qui dialoguent avec l'architecture, mais présentant un programme différent. Ces décors comprennent des
représentations de blasons, d'inscriptions et de petites figures. Sur la façade sud, côté intérieur, apparaissent des anges en grisaille aux ailes déployées, ainsi qu'un personnage barbu peint sur un trumeau.
<p>
Des armoiries ont également été découvertes sur l'intrados d'une fenêtre, encadrées par des colonnes semblables à celles du rez-de-chaussée. Une cartouche y indique l'emplacement disparu des traverses des baies. Une première analyse
iconographique a mis en évidence un style romanisant, caractéristique de la seconde moitié du XVIe siècle. L'analyse dendrochronologique des sommiers en bois, datés entre 1551 et 1569, a permis de confirmer, dans le domaine héraldique,
qu'au moins un blason porte les armes d'Herman de Rave, quarantième abbé de Saint-Jacques au milieu du XVIe siècle. Sur l'intrados des fenêtres de l'étage figurent également les armoiries de la famille de Rave (1551-1583).
</p>
Herman de Rave est également connu pour avoir fait construire, en 1558, le portail Renaissance de l'église abbatiale, attribué à Lambert Lombard (Bolle et al., 2008 ; Bolle, Coura à Léotard, 2016).
</div>
`
)}

function _lombard(FileAttachment){return(
FileAttachment("lombard.png").image()
)}

function _toggle4(inputs){return(
Inputs.toggle({label: "Consolidation des enduits des peintures du XVIème siècle", value: false})
)}

function _210(toggle4,md){return(
md`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
<div style="max-width:700px; font-family:sans-serif; margin-top: 10px;">
<p style="line-height:1.5; display: ${toggle4 ? "block" : "none"};">
Elles ont subi des dégradations causées par des dépôts de suie provenant d'un conduit de cheminée au niveau du mur oriental. La consolidation de ces enduits a été réalisée au moyen d'injections de coulis à base de chaux (Hydroxyde de
calcium), de sable et de caséinate de chaux (Verstralen, 2016).
</p>
</div>
`
)}

function _211(html){return(
html.html`<h5 id="Le_Salon_Bleu">Le Salon Bleu<small><a href="#top3"> </a></small></h5>
`
)}

function _212(md){return(
md`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
Au rez-de-chaussée, cette salle présente un décor homogène datant de la fin du XVIIIe siècle. Douze panneaux peints illustrent des scènes mythologiques et des motifs inspirés de l'Antiquité. L'état des panneaux situés sur les murs nord et
sud est jugé préoccupant (Verstralen, 2016).
</div>
`
)}

function _213(md){return(
md`Plan du rez-de-chaussées`
)}

function _opacity2_PLAN_RDC(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Plan RDC actuel" })
)}

function _opacity2_MUR_MEDIEVAL(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Mur médiéval existant" })
)}

function _opacity2_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Mur médiéval supprimé" })
)}

function _opacity_PIECE_SALONBLEU(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Salon Bleu" })
)}

function _opacity4_ROSE_DES_VENTS(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Rose des vents" })
)}

function _219(opacity2_PLAN_RDC,opacity2_MUR_MEDIEVAL,opacity2_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER,opacity_PIECE_SALONBLEU,opacity4_ROSE_DES_VENTS,affichages,Plot)
{
//Description des couches
const couches4 = [
{
id: "IMAGE RDC",
nom: "PLAN RDC",
visible: true,
src: "https://i.imgur.com/Xe1a0BA.png",
x: 5,
y: 2,
width: 1000,
height: 1000,
opacity:opacity2_PLAN_RDC
},
{
id: "IMAGE MUR MEDIEVAL",
nom: "MUR MEDIEVAL",
visible: true,
}

```

```

src: "https://i.imgur.com/YXzonKS.png",
x: 5,
y: 2,
width: 1000,
height: 1000,
opacity: opacity2_MUR_MEDIEVAL
},
{
id: "IMAGE MUR MEDIEVAL SUPPRIMER",
nom: "MUR MEDIEVAL SUPPRIMER",
visible: true,
src: "https://i.imgur.com/0c0EB7z.png",
x: 5,
y: 2,
width: 1000,
height: 1000,
opacity: opacity2_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER
},
{
id: "IMAGE SALON BLEU",
nom: "PIECE SALON BLEU",
visible: true,
src: "https://i.imgur.com/3AgT5az.png",
x: 5,
y: 2,
width: 1000,
height: 1000,
opacity: opacity_PIECE_SALONBLEU
},
},
{
id: "IMAGE rose des vents",
nom: "Rose des vents",
visible: true,
src: "https://i.imgur.com/IN2uWk0.png",
x: 5,
y: 2,
width: 1000,
height: 1000,
opacity: opacity4_ROSE_DES_VENTS
}
};

//Gestion de l'affichage des couches visible
couches4.forEach(couche => {
couches4.visible = affichages.inclues(couches4.id);
});

//Filtrage des couches visibles
const visibleImages = couches4.Filter(layer => layer.visible);

//Préparation du tableau avec les couches visibles
const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
Plot.image([layer], {
x: d => d.x,
y: d => d.y,
width: d => d.width,
height: d => d.height,
src: d => d.src,
opacity: d => d.opacity
}))
);

//affichage avec PLOT
const plot = Plot.plot({
width: 1000,
height: 600,
x: {axis: null},
y: {axis: null},
marks: imageMarks
});

document.querySelectorAll(['a[href="#"]']).forEach(anchor => {
anchor.addEventListener("click", function (e) {
e.preventDefault();
const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
const target = document.getElementById(targetId);
if (target) {
target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
}
});
});

return plot;
}

function _toggle3(inputs){return(
Inputs.toggle({label: "Consolidation des enduits des peintes de lu Salon Bleu", value: false})
)}

function _221(toggle3,html){return(
html.html`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
<div style="width: 700px; font-family: sans-serif; margin-top: 10px;">
<p style="line-height: 1.5; display: ${toggle3 ? "block" : "none"};>
Ces panneaux souffrent d'humidité causant écaillages, craquelures et lacunes. Sur les murs nord et sud, les peintures ont été stabilisées avec un mélange PVA-Tylose appliqué avec du papier japon humidifié, puis aplatis. Tandis que
les décors des murs est et ouest ont reçu des injections de coulis de chaux et sable (Verstraeten, 2014).
</p>
</div>`
)}

function _222(html){return(
html.html`<h5 id="Les peintures en plinthes noires">Les peintures en plinthe noire<small><a href="#top3"> 1</a></small></h5>`
)}

function _223(md){return(
md`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
Dans la cage d'escalier et la chambre du premier étage, des éléments décoratifs datant probablement du XVIIIe siècle sont conservés. Il s'agit d'une plinthe noire associée à de grands panneaux bleus aux motifs crénelés. Leur état de
conservation est globalement médiocre (Verstraeten, 2014).
</div>`
)}

function _224(md){return(
md`Plan du premier étage`
)}

function _opacity1_r1(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Premier étage" })
)}

function _opacity1_r1medieval(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Mur médiéval premier étage" })
)}

function _opacity1_r1medievalsupp(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "mur médiéval supprimé au premier étage" })
)}

function _opacity_chambre(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Chambre" })
)}

function _opacity_escalier(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Cage escalier" })
)}

function _opacity1_ROSE_DES_VENTS(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Rose des vents et légende" })
)}

function _opacity1_NUMEROS_DES_MAISONS(inputs){return(
Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Numéros des maisons" })
)}

function _232(opacity1_r1,opacity1_ROSE_DES_VENTS,opacity1_r1medieval,opacity1_r1medievalsupp,opacity_chambre,opacity_escalier,opacity1_NUMEROS_DES_MAISONS,affichages,Plot)
{
//Description des couches
const couchesI7 = [
{
id: "IMAGE r=1",
nom: "r=1",
visible: true,
src: "https://i.imgur.com/6axNBAb.png",
x: 5,
y: 2,
width: 1000,
height: 1000,
opacity: opacity1_r1
},
},

```

```

    {
      id: "IMAGE rose des vents",
      nom: "rose des vents",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/ExscpTV.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity1_ROSE_DES_VENTS
    },
    {
      id: "IMAGE r+1 medieval",
      nom: "r+1 medieval",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/moVW9g9.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity1_r1medieval
    },
    {
      id: "IMAGE r+1 medieval supp",
      nom: "r+1 medieval supp",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/1ZmAoOH.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity1_r1medievalsupp
    },
    {
      id: "IMAGE chambre",
      nom: "chambre",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/P33m60H.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_chambre
    },
    {
      id: "IMAGE escalier",
      nom: "escalier",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/RR3B5sC.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_escalier
    },
    {
      id: "IMAGE numeros des maisons",
      nom: "Numeros des maisons",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/0wm5cyD.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity1_NUMEROS_DES_MAISONS
    }
  ]

  //Gestion de l'affichage des couches visible
  couches17.forEach(couche => {
    couches17.visible = affichages.includes(couches17.id);
  });

  //filtrage des couches visibles
  const visibleImages = couches17.filter(layer => layer.visible);

  //Préparation du tableau avec les couches visibles
  const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
    Plot.image([layer], {
      x: d => d.x,
      y: d => d.y,
      width: d => d.width,
      height: d => d.height,
      src: d => d.src,
      opacity: d => d.opacity
    })
  );

  //affichage avec PLOT
  const plot = Plot.plot({
    width: 1000,
    height: 650,
    x: {axis: null},
    y: {axis: null},
    marks: imageMarks
  });

  document.querySelector('a[href="#"]').forEach(anchor => {
    anchor.addEventListener("click", function (e) {
      e.preventDefault();
      const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
      const target = document.getElementById(targetId);
      if (target) {
        target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
      }
    });
  });

  return plot;
}

function _toggle2(Inputs){return(
  Inputs.toggle({label: "Consolidation des enduits des peintures en plinthe noir", value: false})
)}

function _234(toggle2,htl){return(
  htl.html`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
    <div style="max-width:700px; font-family:sans-serif; margin-top: 10px;">
      <p style="line-height:1.5; display: ${toggle2 ? "block" : "none"};">
        Ces décors sont en mauvais état, présentant des enduits fissurés et des peintures poudreuses. La première partie de la restauration a consisté à un dépoussiérage, puis à la fixation de la couche de peinture à l'aide de Tylose puis l'encollage du papier japon humidifié par un mélange d'eau et d'alcool. La seconde partie de restauration a permis de consolider les enduits par injections de coulis de chaux et de sable(Verstralen, 2014).
      </p>
    </div>
  </div>`
)}

function _235(htl){return(
  htl.html`<h5 id="Le-Théâtre">Le Théâtre<small><a href="#top3">🔗</a></small></h5>`
)}

function _236(md){return(
  md`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
    Cette pièce au rez de chaussée présente un décor réalisé entre la fin du XIXe siècle et le début du XXe siècle. Le mur oriental abrite une scène, tandis que les murs nord, sud et ouest sont ornés de grands panneaux décoratifs (Verstralen, 2014).
  </div>`
)}

function _237(md){return(
  md`*Plan du rez-de chaussée*`
)}

function _opacity_PLAN_RDC(Inputs){return(
  Inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Plan RDC actuel" })
)}

function _opacity_MUR_MEDIEVAL(Inputs){return(
  Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Mur médiéval existant" })
)}

function _opacity_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER(Inputs){return(
  Inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Mur médiéval supprimé" })
)}

```

```

function _opacity_PIECE_THEATRE(inputs){return(
  inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Pièce théâtre" })
)}

function _opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION1(inputs){return(
  inputs.range([0, 1], { value: 0, step: 0.1, label: "Réfectoire ou salle de réception?" })
)}

function _opacity5_ROSE_DES_VENTS(inputs){return(
  inputs.range([0, 1], { value: 1, step: 0.1, label: "Rose des vents" })
)}

function _244(opacity_PLAN_RDC,opacity_MUR_MEDIEVAL,opacity_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER,opacity_PIECE_THEATRE,opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION1,opacity5_ROSE_DES_VENTS,affichages,Plot)
{
  //Description des couches
  const couches3 = [
    {
      id: "IMAGE RDC",
      nom: "PLAN RDC",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/XeIa0BA.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity:opacity_PLAN_RDC
    },
    {
      id: "IMAGE MUR MEDIEVAL",
      nom: "MUR MEDIEVAL",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/YXzonKS.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_MUR_MEDIEVAL
    },
    {
      id: "IMAGE MUR MEDIEVAL SUPPRIMER",
      nom: "MUR MEDIEVAL SUPPRIMER",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/Oc0EB7z.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER
    },
    {
      id: "IMAGE THEATRE",
      nom: "PIECE THEATRE",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/RPa8EF9.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_PIECE_THEATRE
    },
    {
      id: "IMAGE Refectoire ou salle de reception",
      nom: "PIECE Refectoire ou salle de reception",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/elamPtD.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION1
    },
    {
      id: "IMAGE rose des vents",
      nom: "rose des vents",
      visible: true,
      src: "https://i.imgur.com/INZuW08.png",
      x: 5,
      y: 2,
      width: 1000,
      height: 1000,
      opacity: opacity5_ROSE_DES_VENTS
    }
  ];

  //Gestion de l'affichage des couches visible
  couches3.forEach(couche => {
    couches3.visible = affichages.includes(couches3.id);
  });

  //filtrage des couches visibles
  const visibleImages = couches3.filter(layer => layer.visible);

  //Préparation du tableau avec les couches visibles
  const imageMarks = visibleImages.map(layer =>
    Plot.image([layer], {
      x: d => d.x,
      y: d => d.y,
      width: d => d.width,
      height: d => d.height,
      src: d => d.src,
      opacity: d => d.opacity
    })
  );

  //affichage avec PLOT
  const plot = Plot.plot({
    width: 1000,
    height: 650,
    x: {axis: null},
    y: {axis: null},
    marks: imageMarks
  });

  document.querySelectorAll('a[href="#"]').forEach(anchor => {
    anchor.addEventListener("click", function (e) {
      e.preventDefault();
      const targetId = this.getAttribute("href").substring(1);
      const target = document.getElementById(targetId);
      if (target) {
        target.scrollIntoView({ behavior: "smooth" });
      }
    });
  });

  return plot;

}

function _toggle(inputs){return(
  inputs.toggle({label: "Consolidation des enduits peints de la salle du Théâtre", value: false})
)}

function _246(toggle,html){return(
  html.html`<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
    <div style="max-width:700px; font-family:sans-serif; margin-top: 10px;">
    <p style="line-height:1.5; display: ${toggle ? "block" : "none"};">
    Des fissures de soulèvements ont été stabilisées avec des injections de Ledan TB1 , tandis que les grandes fissures ont été comblées avec un mortier de chaux et sable. Les portes marouflées ont, quant à elles, été consolidées à l'aide d'un adhésif acrylique (Verstralen, 2014).
    </p>
  </div>
`
)}

function _247(html){return(
  html.html`<h2 id="Maquette_IVION">Visite virtuelle<small><a href="#top"> </a></small></h2>`
)}

function _248(html){return(
  html.html`<iframe name="Maquette IVION" src="https://uliege.iv.navvis.com/?image=954821739186636
    &lon=0.008&lat=0.008&fov=150.0&site=1876754305459310" width="950" height="700" allow="xr; xr-spatial-tracking; fullscreen"></iframe>`
)}

function _249(md){return(
  md(`<img alt="Accès à la maquette NavVis IVION" (https://uliege.iv.navvis.com/?image=954821739186636&lon=0.008&lat=0.008&fov=150.0&site=1876754305459310)`
)}

function _250(html){return(
  html.html`<h3 id="La_collecte_de_donnees">La collecte de données<small><a href="#top"> </a></small></h3>`
)}

```



```
function _251(md){return(
md
<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
  <p>
    Pour concevoir la maquette 3D des maisons sises n°9 et 10 sur la plateforme NavVis IVIDON, des relevés ont été effectués avec l'outil NavVis VLX deuxième génération. Cet outil utilise la technologie du SLAM (Localisation et cartographie simultanée) et permet de réaliser une cartographie intérieure. Autrement dit, ce principe s'inspire de la robotique et peut se trouver sous différentes formes. Dans le cas du NavVis VLX deuxième génération, c'est un système à positionner sur le dos de l'utilisateur, avec une ceinture pour répartir son poids de 8,7 kg. Il est équipé deux capteurs LIDAR, de quatre caméras, d'un logiciel SLAM et d'une unité de mesure inertielle (IMU). Un écran tactile offre des informations en temps réel sur ce qui est en train d'être scanné, directement sur une carte (NavVis, 2024).
  </p>
  <p>
    Un premier relevé a été effectué l'année passée avec le même outil par A. Schreurs et L. Moray, dans le cadre du projet URMIBAL. Ce projet a pour but d'étudier les bâtiments historiques et traditionnels liégeois, afin d'obtenir des connaissances sur le flux de matériaux présents et sur le flux de déchets générés des opérations de réhabilitation énergétique (Trachte et al., 2025). Le second relevé, réalisé est dans le cadre d'un mémoire sur l'utilisation de plateforme de médiation web pour communiquer le patrimoine. Ce relevé a permis de mieux comprendre le fonctionnement de l'outil, du site et de compléter les données existantes.
  </p>
</div>
</div>
-
}}
function _navvisDescription_1(FileAttachment){return(
FileAttachment("navvis_description_1.jpg").image()
)
}
function _254(html){return(
html.html<? id="Bibliographie">Bibliographie <small><a href="#top"> ⬆️</small></h2>
)
}
function _255(md){return(
md<div style="width: 600px; text-align: justify; font-family: sans-serif; line-height: 1.5;">
  <p>Bolle C., & Léotard J.-M., (2002). Les vestiges des bâtiments claustraux de l'abbaye de Saint-Jacques à Liège sauvés in extremis. Bulletin de l'Association Icomos Wallonie-Bruxelles, 11, 1-2.</p>
  <p>Amorim, V., (2006). Le Centre wallon d'Archéologie du Bâti. Réaffectation des vestiges de l'ancien cloître de l'abbaye Saint-Jacques à Liège. Archaeologia Mediaevalis, 29, 18-20.</p>
  <p>Bolle, C., Coura, G., & Léotard, J.-M. (2008). Les vestiges des bâtiments claustraux de l'abbaye de Saint-Jacques à Liège (lg.). Archaeologia Mediaevalis, 26, 93-95.</p>
  <p>Bolle C., & Léotard J.-M., (2006). Liège/Liège : conservation des bâtiments claustraux de l'ancienne abbaye de Saint-Jacques. Chronique de l'Archéologie Wallonne, 13, 107-171.</p>
  <p>Bolle, C., Charlier, J.-C., Coura, G., & Léotard, J.-M. (2008). Les vestiges des bâtiments conventuels de l'ancienne abbaye de Saint-Jacques. Les dossiers de l'Institut du Patrimoine Wallon, 7, 43-58.</p>
  <p>Bolle, C., & Léotard, J.-M. (2008). Les vestiges des bâtiments claustraux de l'ancienne abbaye de Saint-Jacques à Liège. Dossier de la Commission Royale des Monuments, Sites et Fouilles, 12, 267-266.</p>
  <p>Bolle C., & Léotard J.-M., (2012). Finalités et enjeux des relevés graphiques dans le cadre des études archéologiques des bâtiments. Théma & Collecta, 2, 62-71.</p>
  <p>Bolle C., & Léotard J.-M., (2014). L'archéologie des bâtiments à Liège et le centre d'archéologie du bâti. In : Bolle C., Coura G., & Léotard J.-M., (dir.), L'archéologie des bâtiments en question, un outil pour les connaître, les conserver et les restaurer, actes du colloque international, Liège 10-11 novembre 2010, Namur (études et documents, Archaeologia, 35), 291-315. https://www.academia.edu/37318830/E_035_Archeobat_Bolle_et_al_291_315</p>
  <p>Bolle C., & Léotard J.-M. (2014). Découvertes récentes d'édifices médiévaux au cœur de la ville de Liège. La lettre du Patrimoine, les nouvelles de l'archéologie n°34, Bureau de dépôt : Liège X, Édition SPW, p. 11. </p>
  <p>Bolle, C., Coura, G., & Léotard, J.-M. (2016). L'infirmerie des moines, dernier vestige des bâtiments conventuels. In Allart, D., & al. (dir.). L'église Saint-Jacques à Liège Templum pulcherrimum: une histoire, un patrimoine. Institut du Patrimoine wallon. pp. 67-77.</p>
  <p>
    </p>
  <p>Henrard, D. & Van Der Sloot, (2007). Liège/Liège : fouilles des maisons sises place Emile Dupont, nos 9 et 10. Chronique de l'Archéologie Wallonne, 14, 121-123.</p>
  <p>Trachte, S., Romboux, A., Nuel, D., Schreurs, A., Sosnowska, P., & Wallot, P. (2025, February). Projet URMIBAL : Comment les outils numériques de documentation du patrimoine peuvent renforcer la connaissance et le réemploi des matériaux constituant le bâti traditionnel, dans une approche d'Urban Mining. In Journée de la recherche de l'Unité de Recherche Art Archéologie et Patrimoine. </p>
  <p>NavVis, (2024, septembre), Fiche de données NavVis VLX2. Consulté sur https://fr.navvis.com/resources/specifications/navvis-vlx-2</p>
</div>
)
}
export default function define(runtime, observer) {
  const main = runtime.module(() => {
    function toString() { return this.url; }
    const fileAttachments = new Map([
      ["photos_2001.jpg", {url: new URL("./files/bc323b7b981de845f95272809ed2c7c5d52b32c0ea251ad41bfb1b48dc89581e6d227c608008d2ec9c6927246ef3ae47456abf0739f8ee19a73f770a294b.jpeg", import.meta.url), mimeType: "image/jpeg", toString}],
      ["assets_task_811tpop334a8bpps98e8jrnk_1746800522_img_2.webp", {url: new URL("./files/a27c8149088dbbfaeacacel4d5b845ef05567b4cfcae9f51479cac8c8a3c0ed3709c8f70a8348b1f7dd2f64f4d1a73cc84e5f931c239f2a89c9877a17522.webp", import.meta.url), mimeType: "image/webp", toString}],
      ["bd_secularisation_01_1.jpg", {url: new URL("./files/f9df4e651a580a4adeb6767d05d82c3cad89125db2b16a5aa735e14e9037be2253ea48e5d8261374ff601a45ea02884ac8ef32220638d876.jpg", import.meta.url), mimeType: "image/jpeg", toString}],
      ["RDC ET PREMIER ETAGE PEINTURE_1.png", {url: new URL("./files/eebe8e67515e3aeefc9e95a6134f89a9de3a578e79740897a1830f9d299f727c5c102f7d610a929f741925cadd355e1841264d83b2ac78447ee83358c94681.png", import.meta.url), mimeType: "image/png", toString}],
      ["lombard.png", {url: new URL("./files/3a3aa640aa43f429217a6ca7b483cd8945cbf6e31644c37276b29fb78f2e2edf7c6d0fb37d9c9c0106f91a54eb3e44cbbcd0e6b3c8e3fbd23b63bf6caf2.png", import.meta.url), mimeType: "image/png", toString}],
      ["flours_1.png", {url: new URL("./files/e762e253ea11308abb1be17a76ae6868383c52cf5b73e1700a0ad7d0e4b70a181a5c71c7a0c21163c9f9a9c8b8f019dc8b9b76f037286ca1f9422fb.png", import.meta.url), mimeType: "image/png", toString}],
      ["charpentier_1.png", {url: new URL("./files/baa4993875a4dd4e4a78d5f62c716261225a6c879d5a423949a8fba45d08dc8f6ebc187c90d3448c4496b3584b6a7c09f1593b86a40baec27a3e31c.png", import.meta.url), mimeType: "image/png", toString}],
      ["charpentier_2.png", {url: new URL("./files/ace938d9efdb37c0bb1be5dbdd7208f58c4fb79c5eb8e4c7ca852484ae4429a54ef4a80231864b03381663f85f3e6e452a7bc9b3448b9ef8cac9408e.png", import.meta.url), mimeType: "image/png", toString}],
      ["navvis_description_1.jpg", {url: new URL("./files/e993ab5a76b0c1474ead1e8fa744e38e8788ac3b861bb0bd0178f9e8428389e6a3d61d9b97025d711b95387e0b14b91280164e4c3259eab7ccda7322.jpg", import.meta.url), mimeType: "image/jpeg", toString}],
    ]);
    main.builtin("FileAttachment", runtime.fileAttachments(name => fileAttachments.get(name)));
    main.variable(observer()).define(["html"], _3);
    main.variable(observer()).define(["html"], _2);
    main.variable(observer()).define(["md"], _3);
    main.variable(observer()).define(["html"], _4);
    main.variable(observer("viewof map")).define("viewof map", ["html","*"], _map);
    main.variable(observer("map")).define("map", ["Generators", "viewof map"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer()).define(["md"], _6);
    main.variable(observer()).define(["html"], _7);
    main.variable(observer("photos2001")).define("photos2001", ["FileAttachment"], _photos2001);
    main.variable(observer()).define(["md"], _10);
    main.variable(observer()).define(["html"], _11);
    main.variable(observer()).define(["md"], _12);
    main.variable(observer()).define(["md"], _13);
    main.variable(observer()).define(["html"], _14);
    main.variable(observer("opacity2_ROSE_DES_VENTS")).define("viewof opacity2_ROSE_DES_VENTS", ["Inputs"], _opacity2_ROSE_DES_VENTS);
    main.variable(observer()).define(["md"], _16);
    main.variable(observer()).define(["FileAttachment"], _17);
    main.variable(observer()).define(["md"], _18);
    main.variable(observer("bdSecularisation1_1")).define("bdSecularisation1_1", ["FileAttachment"], _bdSecularisation1_1);
    main.variable(observer()).define(["md"], _20);
    main.variable(observer("viewof affichages")).define("viewof affichages", ["Inputs"], _affichages);
    main.variable(observer("affichages")).define("affichages", ["Generators", "viewof affichages"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer()).define(["html"], _23);
    main.variable(observer()).define(["affichages","Plot","html","viewof affichages"], _24);
    main.variable(observer()).define(["html"], _25);
    main.variable(observer()).define(["html"], _26);
    main.variable(observer()).define(["md"], _27);
    main.variable(observer()).define(["md"], _28);
    main.variable(observer()).define(["md"], _29);
    main.variable(observer("viewof opacity4_PLAN_ROC")).define("viewof opacity4_PLAN_ROC", ["Inputs"], _opacity4_PLAN_ROC);
    main.variable(observer("opacity4_PLAN_ROC")).define("opacity4_PLAN_ROC", ["Generators", "viewof opacity4_PLAN_ROC"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("opacity4_MUR_MEDIEVAL")).define("viewof opacity4_MUR_MEDIEVAL", ["Inputs"], _opacity4_MUR_MEDIEVAL);
    main.variable(observer("opacity4_MUR_MEDIEVAL")).define("opacity4_MUR_MEDIEVAL", ["Generators", "viewof opacity4_MUR_MEDIEVAL"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("opacity4_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER")).define("viewof opacity4_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER", ["Inputs"], _opacity4_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER);
    main.variable(observer("opacity4_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER")).define("opacity4_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER", ["Generators", "viewof opacity4_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("opacity_opacity_pont")).define("viewof opacity_pont", ["Inputs"], _opacity_pont);
    main.variable(observer("opacity_opacity_pont")).define("opacity_opacity_pont", ["Generators", "viewof opacity_pont"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("viewof opacity_bief")).define("viewof opacity_bief", ["Inputs"], _opacity_bief);
    main.variable(observer("opacity_opacity_bief")).define("opacity_bief", ["Generators", "viewof opacity_bief"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("viewof opacity_sous_sol")).define("viewof opacity_sous_sol", ["Inputs"], _opacity_sous_sol);
    main.variable(observer("opacity_sous_sol")).define("opacity_sous_sol", ["Generators", "viewof opacity_sous_sol"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("opacity2_ROSE_DES_VENTS")).define("viewof opacity2_ROSE_DES_VENTS", ["Inputs"], _opacity2_ROSE_DES_VENTS);
    main.variable(observer("opacity2_ROSE_DES_VENTS")).define("opacity2_ROSE_DES_VENTS", ["Generators", "viewof opacity2_ROSE_DES_VENTS"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer()).define(["opacity4_PLAN_ROC","opacity4_MUR_MEDIEVAL","opacity4_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER","opacity_sous_sol","opacity_bief","opacity_pont","opacity2_ROSE_DES_VENTS","affichages","Plot"], _37);
    main.variable(observer()).define(["md"], _39);
    main.variable(observer("viewof opacity_coupe")).define("viewof opacity_coupe", ["Inputs"], _opacity_coupe);
    main.variable(observer("opacity_coupe")).define("opacity_coupe", ["Generators", "viewof opacity_coupe"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("viewof opacity_bief2")).define("viewof opacity_bief2", ["Inputs"], _opacity_bief2);
    main.variable(observer("opacity_bief2")).define("opacity_bief2", ["Generators", "viewof opacity_bief2"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("viewof opacity_bati_medieval")).define("viewof opacity_bati_medieval", ["Inputs"], _opacity_bati_medieval);
    main.variable(observer("opacity_bati_medieval")).define("opacity_bati_medieval", ["Generators", "viewof opacity_bati_medieval"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("viewof opacity_annexe")).define("viewof opacity_annexe", ["Inputs"], _opacity_annexe);
    main.variable(observer("opacity_annexe")).define("opacity_annexe", ["Generators", "viewof opacity_annexe"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("viewof opacity_annotation")).define("viewof opacity_annotation", ["Inputs"], _opacity_annotation);
    main.variable(observer("opacity_annotation")).define("opacity_annotation", ["Generators", "viewof opacity_annotation"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("opacity_coupe", "opacity_bief2", "opacity_bati_medieval", "opacity_annexe", "opacity_annotation", "affichages", "Plot"), _46);
    main.variable(observer()).define(["html"], _46);
    main.variable(observer()).define(["html"], _47);
    main.variable(observer()).define(["md"], _48);
    main.variable(observer()).define(["md"], _49);
    main.variable(observer()).define(["html"], _50);
    main.variable(observer()).define(["html"], _51);
    main.variable(observer()).define(["html"], _52);
    main.variable(observer()).define(["html"], _53);
    main.variable(observer()).define(["md"], _54);
    main.variable(observer("viewof opacity9_PLAN_ROC")).define("viewof opacity9_PLAN_ROC", ["Inputs"], _opacity9_PLAN_ROC);
    main.variable(observer("opacity9_PLAN_ROC")).define("opacity9_PLAN_ROC", ["Generators", "viewof opacity9_PLAN_ROC"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("opacity3_structure")).define("viewof opacity3_structure", ["Inputs"], _opacity3_structure);
    main.variable(observer("opacity3_structure")).define("opacity3_structure", ["Generators", "viewof opacity3_structure"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("viewof opacity9_MUR_MEDIEVAL")).define("viewof opacity9_MUR_MEDIEVAL", ["Inputs"], _opacity9_MUR_MEDIEVAL);
    main.variable(observer("opacity9_MUR_MEDIEVAL")).define("opacity9_MUR_MEDIEVAL", ["Generators", "viewof opacity9_MUR_MEDIEVAL"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("viewof opacity9_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER")).define("viewof opacity9_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER", ["Inputs"], _opacity9_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER);
    main.variable(observer("opacity9_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER")).define("opacity9_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER", ["Generators", "viewof opacity9_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("opacity_opacity_pignon_oriental")).define("opacity_opacity_pignon_oriental", ["Inputs"], _opacity_opacity_pignon_oriental);
    main.variable(observer("opacity_opacity_pignon_oriental")).define("opacity_opacity_pignon_oriental", ["Generators", "viewof opacity_opacity_pignon_oriental"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("viewof opacity9_ROSE_DES_VENTS")).define("viewof opacity9_ROSE_DES_VENTS", ["Inputs"], _opacity9_ROSE_DES_VENTS);
    main.variable(observer("opacity9_ROSE_DES_VENTS")).define("opacity9_ROSE_DES_VENTS", ["Generators", "viewof opacity9_ROSE_DES_VENTS"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("viewof opacity9_NUMEROS_DES_MAISONS")).define("viewof opacity9_NUMEROS_DES_MAISONS", ["Inputs"], _opacity9_NUMEROS_DES_MAISONS);
    main.variable(observer("opacity9_NUMEROS_DES_MAISONS")).define("opacity9_NUMEROS_DES_MAISONS", ["Generators", "viewof opacity9_NUMEROS_DES_MAISONS"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("opacity9_texte")).define("viewof opacity9_texte", ["Inputs"], _opacity9_texte);
    main.variable(observer("opacity9_texte")).define("opacity9_texte", ["Generators", "viewof opacity9_texte"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer()).define(["opacity9_PLAN_ROC","opacity9_MUR_MEDIEVAL","opacity9_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER","opacity_opacity_pignon_oriental","opacity3_structure","opacity9_ROSE_DES_VENTS","opacity9_texte","opacity9_NUMEROS_DES_MAISONS","affichages","Plot"], _63);
    main.variable(observer()).define(["md"], _64);
    main.variable(observer()).define(["md"], _65);
    main.variable(observer("viewof opacity_pignon")).define("viewof opacity_pignon", ["Inputs"], _opacity_pignon);
    main.variable(observer("opacity_pignon")).define("opacity_pignon", ["Generators", "viewof opacity_pignon"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("viewof opacity_annotation15")).define("viewof opacity_annotation15", ["Inputs"], _opacity_annotation15);
    main.variable(observer("opacity_annotation15")).define("opacity_annotation15", ["Generators", "viewof opacity_annotation15"], (G, _) => G.input());
    main.variable(observer("opacity_pignon","opacity_annotation15","affichages","Plot"), _68);
    main.variable(observer()).define(["md"], _69);
  });
}
```



```

main.variable(observer("opacity2_texte")).define("opacity2_texte", ["Generators", "viewof opacity2_texte"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity2_Mur_medieval")).define("viewof opacity2_Mur_medieval", ["Inputs", "_opacity2_Mur_medieval"]);
main.variable(observer("opacity2_Mur_medieval")).define("opacity2_Mur_medieval", ["Generators", "viewof opacity2_Mur_medieval"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity_charpentier")).define("opacity_charpentier", ["Inputs", "_opacity_charpentier"]);
main.variable(observer("opacity_charpentier")).define("opacity_charpentier", ["Generators", "viewof opacity_charpentier"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof affichages5")).define("viewof affichages5", ["Inputs", "_affichages5"]);
main.variable(observer("affichages5")).define("affichages5", ["Generators", "viewof affichages5"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof affichages6")).define("viewof affichages6", ["Inputs", "_affichages6"]);
main.variable(observer("affichages6")).define("affichages6", ["Generators", "viewof affichages6"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof affichages7")).define("viewof affichages7", ["Inputs", "_affichages7"]);
main.variable(observer("affichages7")).define("affichages7", ["Generators", "viewof affichages7"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("opacity_charpente_pan_de_bois")).define("opacity_charpente_pan_de_bois", "opacity2_Mur_medieval", "opacity_coupe_existante", "opacity_marques", "opacity2_texte", "opacity_charpentier", "Plot", _176);
main.variable(observer()).define(["md"], _177);
main.variable(observer()).define(["htl"], _178);
main.variable(observer()).define(["md"], _179);
main.variable(observer()).define(["md"], _180);
main.variable(observer()).define(["md"], _181);
main.variable(observer()).define(["md"], _182);
main.variable(observer("viewof opacity3_PLAN_RDC")).define("viewof opacity3_PLAN_RDC", ["Inputs", "_opacity3_PLAN_RDC"]);
main.variable(observer("opacity3_PLAN_RDC")).define("opacity3_PLAN_RDC", ["Generators", "viewof opacity3_PLAN_RDC"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity3_MUR_MEDIEVAL")).define("viewof opacity3_MUR_MEDIEVAL", ["Inputs", "_opacity3_MUR_MEDIEVAL"]);
main.variable(observer("opacity3_MUR_MEDIEVAL")).define("opacity3_MUR_MEDIEVAL", ["Generators", "viewof opacity3_MUR_MEDIEVAL"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity3_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER")).define("viewof opacity3_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER", ["Inputs", "_opacity3_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER"]);
main.variable(observer("opacity3_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER")).define("opacity3_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER", ["Generators", "viewof opacity3_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION")).define("viewof opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION", ["Inputs", "_opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION"]);
main.variable(observer("opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION")).define("opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION", ["Generators", "viewof opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("opacity3_ROSE_DES_VENTS")).define("viewof opacity3_ROSE_DES_VENTS", ["Inputs", "_opacity3_ROSE_DES_VENTS"]);
main.variable(observer("opacity3_ROSE_DES_VENTS")).define("opacity3_ROSE_DES_VENTS", ["Generators", "viewof opacity3_ROSE_DES_VENTS"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity10_NUMEROS_DES_MAISONS")).define("viewof opacity10_NUMEROS_DES_MAISONS", ["Inputs", "_opacity10_NUMEROS_DES_MAISONS"]);
main.variable(observer("opacity10_NUMEROS_DES_MAISONS")).define("opacity10_NUMEROS_DES_MAISONS", ["Generators", "viewof opacity10_NUMEROS_DES_MAISONS"], (G, _) => G.input(_));

main.variable(observer()).define(["opacity3_PLAN_RDC", "opacity3_MUR_MEDIEVAL", "opacity3_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER", "opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION", "opacity3_ROSE_DES_VENTS", "opacity10_NUMEROS_DES_MAISONS", "affichages", "Plot", _189]);
main.variable(observer()).define(["md"], _190);
main.variable(observer()).define(["md"], _191);
main.variable(observer("viewof opacity_Mur_refend")).define("viewof opacity_Mur_refend", ["Inputs", "_opacity_Mur_refend"]);
main.variable(observer("opacity_Mur_refend")).define("opacity_Mur_refend", ["Generators", "viewof opacity_Mur_refend"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity_Deuxieme_triptyque")).define("viewof opacity_Deuxieme_triptyque", ["Inputs", "_opacity_Deuxieme_triptyque"]);
main.variable(observer("opacity_Deuxieme_triptyque")).define("opacity_Deuxieme_triptyque", ["Generators", "viewof opacity_Deuxieme_triptyque"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity_Fragmentes_visibles")).define("viewof opacity_Fragmentes_visibles", ["Inputs", "_opacity_Fragmentes_visibles"]);
main.variable(observer("opacity_Fragmentes_visibles")).define("opacity_Fragmentes_visibles", ["Generators", "viewof opacity_Fragmentes_visibles"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("opacity_redites")).define("viewof opacity_redites", ["Inputs", "_opacity_redites"]);
main.variable(observer("opacity_redites")).define("opacity_redites", ["Generators", "viewof opacity_redites"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity_TEXTE")).define("viewof opacity_TEXTE", ["Inputs", "_opacity_TEXTE"]);
main.variable(observer("opacity_TEXTE")).define("opacity_TEXTE", ["Generators", "viewof opacity_TEXTE"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("opacity_Mur_refend", "opacity_Deuxieme_triptyque", "opacity_Fragmentes_visibles", "opacity_redites", "opacity_TEXTE", "affichages", "Plot", _197));
main.variable(observer()).define(["md"], _198);
main.variable(observer("viewof opacity_peintre")).define("viewof opacity_peintre", ["Inputs", "_opacity_peintre"]);
main.variable(observer("opacity_peintre")).define("opacity_peintre", ["Generators", "viewof opacity_peintre"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity_Premier_triptyque")).define("viewof opacity_Premier_triptyque", ["Inputs", "_opacity_Premier_triptyque"]);
main.variable(observer("opacity_Premier_triptyque")).define("opacity_Premier_triptyque", ["Generators", "viewof opacity_Premier_triptyque"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity_Debut_histoire")).define("viewof opacity_Debut_histoire", ["Inputs", "_opacity_Debut_histoire"]);
main.variable(observer("opacity_Debut_histoire")).define("opacity_Debut_histoire", ["Generators", "viewof opacity_Debut_histoire"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("rdcEtPremierEtagePeinture_1")).define("rdcEtPremierEtagePeinture_1", ["FileAttachment", "_rdcEtPremierEtagePeinture_1"]);
main.variable(observer()).define(["md"], _205);
main.variable(observer()).define(["md"], _206);
main.variable(observer()).define(["md"], _207);
main.variable(observer("lombard")).define("lombard", ["FileAttachment", "_lombard"]);
main.variable(observer("viewof toggle4")).define("viewof toggle4", ["Inputs", "_toggle4"]);
main.variable(observer("toggle4")).define("toggle4", ["Generators", "viewof toggle4"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer()).define(["toggle4", "md"], _218);
main.variable(observer()).define(["htl"], _219);
main.variable(observer()).define(["md"], _212);
main.variable(observer()).define(["md"], _213);
main.variable(observer("viewof opacity2_PLAN_RDC")).define("viewof opacity2_PLAN_RDC", ["Inputs", "_opacity2_PLAN_RDC"]);
main.variable(observer("opacity2_PLAN_RDC")).define("opacity2_PLAN_RDC", ["Generators", "viewof opacity2_PLAN_RDC"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity2_MUR_MEDIEVAL")).define("viewof opacity2_MUR_MEDIEVAL", ["Inputs", "_opacity2_MUR_MEDIEVAL"]);
main.variable(observer("opacity2_MUR_MEDIEVAL")).define("opacity2_MUR_MEDIEVAL", ["Generators", "viewof opacity2_MUR_MEDIEVAL"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity2_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER")).define("viewof opacity2_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER", ["Inputs", "_opacity2_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER"]);
main.variable(observer("opacity2_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER")).define("opacity2_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER", ["Generators", "viewof opacity2_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity_PIECE_SALONBLEU")).define("viewof opacity_PIECE_SALONBLEU", ["Inputs", "_opacity_PIECE_SALONBLEU"]);
main.variable(observer("opacity_PIECE_SALONBLEU")).define("opacity_PIECE_SALONBLEU", ["Generators", "viewof opacity_PIECE_SALONBLEU"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity4_ROSE_DES_VENTS")).define("viewof opacity4_ROSE_DES_VENTS", ["Inputs", "_opacity4_ROSE_DES_VENTS"]);
main.variable(observer("opacity4_ROSE_DES_VENTS")).define("opacity4_ROSE_DES_VENTS", ["Generators", "viewof opacity4_ROSE_DES_VENTS"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof toggle3")).define("viewof toggle3", ["Inputs", "_toggle3"]);
main.variable(observer("toggle3")).define("toggle3", ["Generators", "viewof toggle3"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer()).define(["toggle3", "htl"], _221);
main.variable(observer()).define(["htl"], _222);
main.variable(observer()).define(["md"], _223);
main.variable(observer()).define(["md"], _224);
main.variable(observer("viewof opacity1_r1")).define("viewof opacity1_r1", ["Inputs", "_opacity1_r1"]);
main.variable(observer("opacity1_r1")).define("opacity1_r1", ["Generators", "viewof opacity1_r1"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("opacity1_r1medieval")).define("viewof opacity1_r1medieval", ["Inputs", "_opacity1_r1medieval"]);
main.variable(observer("opacity1_r1medieval")).define("opacity1_r1medieval", ["Generators", "viewof opacity1_r1medieval"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity1_r1medievalsupp")).define("viewof opacity1_r1medievalsupp", ["Inputs", "_opacity1_r1medievalsupp"]);
main.variable(observer("opacity1_r1medievalsupp")).define("opacity1_r1medievalsupp", ["Generators", "viewof opacity1_r1medievalsupp"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity_chambre")).define("viewof opacity_chambre", ["Inputs", "_opacity_chambre"]);
main.variable(observer("opacity_chambre")).define("opacity_chambre", ["Generators", "viewof opacity_chambre"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("opacity_escalier")).define("viewof opacity_escalier", ["Inputs", "_opacity_escalier"]);
main.variable(observer("opacity_escalier")).define("opacity_escalier", ["Generators", "viewof opacity_escalier"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity1_ROSE_DES_VENTS")).define("viewof opacity1_ROSE_DES_VENTS", ["Inputs", "_opacity1_ROSE_DES_VENTS"]);
main.variable(observer("opacity1_ROSE_DES_VENTS")).define("opacity1_ROSE_DES_VENTS", ["Generators", "viewof opacity1_ROSE_DES_VENTS"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity1_NUMEROS_DES_MAISONS")).define("viewof opacity1_NUMEROS_DES_MAISONS", ["Inputs", "_opacity1_NUMEROS_DES_MAISONS"]);
main.variable(observer("opacity1_NUMEROS_DES_MAISONS")).define("opacity1_NUMEROS_DES_MAISONS", ["Generators", "viewof opacity1_NUMEROS_DES_MAISONS"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof toggle2")).define("viewof toggle2", ["Inputs", "_toggle2"]);
main.variable(observer("toggle2")).define("toggle2", ["Generators", "viewof toggle2"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer()).define(["toggle2", "htl"], _234);
main.variable(observer()).define(["htl"], _235);
main.variable(observer()).define(["md"], _236);
main.variable(observer()).define(["md"], _237);
main.variable(observer("viewof opacity_PLAN_RDC")).define("viewof opacity_PLAN_RDC", ["Inputs", "_opacity_PLAN_RDC"]);
main.variable(observer("opacity_PLAN_RDC")).define("opacity_PLAN_RDC", ["Generators", "viewof opacity_PLAN_RDC"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity_MUR_MEDIEVAL")).define("viewof opacity_MUR_MEDIEVAL", ["Inputs", "_opacity_MUR_MEDIEVAL"]);
main.variable(observer("opacity_MUR_MEDIEVAL")).define("opacity_MUR_MEDIEVAL", ["Generators", "viewof opacity_MUR_MEDIEVAL"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER")).define("viewof opacity_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER", ["Inputs", "_opacity_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER"]);
main.variable(observer("opacity_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER")).define("opacity_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER", ["Generators", "viewof opacity_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("opacity_PIECE_THEATRE")).define("viewof opacity_PIECE_THEATRE", ["Inputs", "_opacity_PIECE_THEATRE"]);
main.variable(observer("opacity_PIECE_THEATRE")).define("opacity_PIECE_THEATRE", ["Generators", "viewof opacity_PIECE_THEATRE"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION1")).define("viewof opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION1", ["Inputs", "_opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION1"]);
main.variable(observer("opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION1")).define("opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION1", ["Generators", "viewof opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION1"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("viewof opacity5_ROSE_DES_VENTS")).define("viewof opacity5_ROSE_DES_VENTS", ["Inputs", "_opacity5_ROSE_DES_VENTS"]);
main.variable(observer("opacity5_ROSE_DES_VENTS")).define("opacity5_ROSE_DES_VENTS", ["Generators", "viewof opacity5_ROSE_DES_VENTS"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer("opacity3_PLAN_RDC", "opacity_MUR_MEDIEVAL", "opacity_MUR_MEDIEVAL_SUPPRIMER", "opacity_PIECE_THEATRE", "opacity_PIECE_REFECTOIRE_OU_SALLE_DE_RECEPTION1", "opacity5_ROSE_DES_VENTS", "affichages", "Plot", _244));
main.variable(observer("viewof toggle")).define("viewof toggle", ["Inputs", "_toggle"]);
main.variable(observer("toggle")).define("toggle", ["Generators", "viewof toggle"], (G, _) => G.input(_));
main.variable(observer()).define(["toggle", "htl"], _246);
main.variable(observer()).define(["htl"], _247);
main.variable(observer()).define(["htl"], _248);
main.variable(observer()).define(["md"], _249);
main.variable(observer()).define(["htl"], _250);
main.variable(observer()).define(["md"], _251);
main.variable(observer("navvisDescription_1")).define("navvisDescription_1", ["FileAttachment", "_navvisDescription_1"]);
main.variable(observer()).define(["htl"], _254);
main.variable(observer()).define(["md"], _255);
return main;
}

```

