



HAL
open science

Étude de l'évolution d'un village médiéval de l'Hérault par combinaison de données hétérogènes (anciennes et acquises)

Julie Labbey

► **To cite this version:**

Julie Labbey. Étude de l'évolution d'un village médiéval de l'Hérault par combinaison de données hétérogènes (anciennes et acquises). Sciences de l'ingénieur [physics]. 2024. dumas-04804245

HAL Id: dumas-04804245

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04804245v1>

Submitted on 26 Nov 2024

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

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

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS
ECOLE SUPERIEURE D'INGENIEURS GEOMETRES ET TOPOGRAPHES

MEMOIRE

Présenté en vue d'obtenir

Le DIPLOME D'INGÉNIEUR CNAM

SPECIALITE : Géomètre et Topographe

Par

Julie LABBEY

Étude de l'évolution d'un village médiéval de l'Hérault par combinaison de
données hétérogènes (anciennes et acquises)

Soutenu le 03 septembre 2024

JURY

Monsieur Ghyslain FERRE	Président du jury
Monsieur Frédéric LETTERLÉ	Maître de stage
Monsieur Christophe CHARLET	Enseignant référent

Remerciements

Je tiens à remercier les nombreuses personnes ayant contribué au bon déroulement de ce travail de fin d'études.

En premier lieu Frédéric LETTERLÉ, mon maître de stage, qui m'a accompagné tout au long de ce travail et m'a permis de découvrir le monde de l'archéologie que je connaissais peu.

Maxime SEGUIN et Damien LAISNEY, mes encadrants, qui ont su me conseiller au cours de nos différents échanges.

Le laboratoire ArAr, la MOM et le CNRS qui ont permis le déroulement de ce stage.

Thomas ROBARDET-CAFFIN, architecte du patrimoine qui a partagé ses connaissances en architecture médiévale.

La municipalité de Saint-Martin-de-Londres et ses habitants qui nous ont accueilli et permis de faire des mesures chez eux.

M. PONS géomètre pour le cadastre, qui nous a transmis les coordonnées de ses stations et permettant ainsi de géoréférencer le projet.

Lionel MOHR qui nous a prêté une perche de photogrammétrie.

Enfin je tiens à remercier l'AFEM et en particulier Corine CALMON pour le soutien qu'ils m'ont apporté tout au long de mes études.

Liste des abréviations

BIM : Building Information Modeling

HBIM : Historic ou Heritage BIM

RMS : Root Mean Square

LOR : Level of Reliability

LIDAR : Light Detection and Ranging

Glossaire

Prieuré : Dépendance d'une abbaye, comprenant un petit nombre de moines. (Larousse)

Modénature : Traitement ornemental de certains éléments structurels d'un édifice. (Larousse)

Arase : Élément de faible épaisseur, pierre ou brique, destiné à compenser une différence de niveau dans un mur. (Larousse)

Cartulaire : Recueil de copies des actes attestant les titres et privilèges d'une personne ou d'une communauté (Larousse)

Laïc : Personne qui n'appartient pas au clergé.

Bretèche : (Architecture) Construction avancée et surélevée au-dessus d'une porte ou d'un mur d'enceintes, dotée de meurtrières pour projeter des objets ou des flèches sur l'ennemi en contrebas (lalanguefrancaise.com)

Assommoir : Ouverture généralement en haut d'une porte, permettant le jet de projectile verticalement

Corbeau : Élément encastré permettant le support d'une poutre, d'un crénelage ou d'un chemin de ronde. On parle alors d'un élément en encorbellement.

Archère : Ouverture verticale dans un mur permettant le tir à l'arc ou à l'arbalète

Table des matières

I	L'ARCHEOLOGIE MEDIEVALE, UNE RECHERCHE PLURIDISCIPLINAIRE	9
I.1	L'ARCHEOLOGIE MEDIEVALE AUJOURD'HUI	9
I.1.1	Une discipline « récente »	9
I.1.2	Pourquoi effectuer une recherche archéologique ?	9
I.1.2.1	L'étude et la conservation du patrimoine	10
I.1.2.2	La production de connaissances	10
I.1.2.3	La diffusion au plus grand nombre	10
I.2	DES DONNEES HETEROGENES.	11
I.2.1	Les archives	11
I.2.2	Les observations et prélèvements.	12
I.3	LES METHODES D'ANALYSE	13
I.3.1	L'archéologie du bâti	13
I.3.2	Les méthodes de datation	14
I.3.2.1	Les méthodes de datation relatives	14
I.3.2.2	Les méthodes de datation absolue	14
I.4	LA PLACE DU MODELE HBIM DANS LA RESTITUTION ARCHEOLOGIQUE	15
I.4.1	Un outil en développement	15
I.4.2	Les limites du HBIM appliqué à l'archéologie du bâti	16
II	MODELISATION DE L'EVOLUTION DU VILLAGE DE SAINT-MARTIN-DE-LONDRES	17
II.1	ÉTAT DES CONNAISSANCES CONCERNANT LE VILLAGE DE SAINT-MARTIN-DE-LONDRES	17
II.1.1	Les différentes campagnes de recherche	18
II.1.2	Le contexte historique	19
II.1.3	Les hypothèses existantes concernant l'évolution du village	20
II.2	L'ACQUISITION DES DONNEES TOPOGRAPHIQUES	21
II.2.1	La stratégie de levée	21
II.2.2	Le traitement des données	23
II.2.3	La création d'un modèle HBIM	25
III	L'ETUDE COMPARATIVE DES ELEMENTS TOPOGRAPHIQUES ET ARCHITECTURAUX EXISTANT AVEC LES DIFFERENTES SOURCES HISTORIQUES	26
III.1	LE PRIEURE	26
III.1.1	Une succession d'enceintes	26
III.1.2	Une enceinte étendue au XIIIe siècle	31
III.2	L'ENCEINTE VILLAGEOISE	32

III.2.1 La deuxième enceinte villageoise	35
Conclusion.....	36
Liste des figures.....	37
Liste des Tableaux	37
Bibliographie	38
Table des annexes.....	42

Introduction

Le village médiéval de Saint-Martin-de-Londres a fait l'objet de plusieurs études sur son évolution dans le temps, mais un certain nombre d'hypothèses nécessitait l'acquisition de données topographiques plus détaillées. Ce document synthétise les travaux effectués à partir des données d'archives et de recherches antérieures et acquises dans le cadre de ce travail afin de produire une maquette numérique.

Depuis des millénaires, l'Homme s'intéresse au passé. Dès le III^{ème} millénaire avant notre ère, en Égypte, l'étude du passé, et notamment des écrits par les scribes, permettait aux souverains de se rattacher à leurs prédécesseurs. Il faut attendre les Grecs pour voir apparaître le terme d'Histoire (*Historia*) au sens de recherche d'une histoire universelle, un discours des origines (*archaiologia*). Les philosophes et historiens Grecs et Romains ne s'appuient plus uniquement sur l'étude des textes, mais étendent l'utilisation des techniques des scribes aux preuves matérielles afin d'interpréter une histoire de l'Homme. Avec l'avènement du christianisme, les hypothèses d'une histoire humaine antérieure aux premières civilisations deviennent incompatibles avec le mythe d'Adam et Ève, et il faudra attendre la Renaissance pour voir réapparaître un intérêt pour l'antique. (Guide des méthodes de l'archéologie, DEMOULE Jean-Paul *et al.*, 2020)

L'archéologie tient son nom du grec *archaiologia* défini par Platon comme la connaissance du passé. Il n'intègre pas seulement la connaissance des textes ou des vestiges, mais l'étude d'une société en tant que système en son ensemble. Il prend ainsi en compte l'environnement, la culture, le commerce, la société et tous les éléments pouvant le constituer. (Manuel d'archéologie, François Djindjian, 2011) Selon cette définition l'archéologie et par extension l'archéologie médiévale est une science pluridisciplinaire dont les sources d'information sont multiples, que ce soit archives historiques, plans, rapports de fouille ou toutes les observations nouvellement acquises. Ces sources de données peuvent évoluer en fonction des avancées technologiques. Le rôle du chercheur est de comparer ses observations avec les documents existants et les observations de ses prédécesseurs afin de retracer une chronologie probable des événements. La diversification des outils de mesure et d'observation, avec la démocratisation de la photogrammétrie et du Lidar permettent à l'archéologue d'avoir de nouvelles approches des sites en permettant entre autres leur modélisation. Initialement utilisée principalement comme un outil de restitution, la maquette numérique devient depuis quelques années un outil d'analyse et de

compilation des données en archéologie. La technologie BIM (Building informatic model) et plus particulièrement son dérivé adapté à la conservation du patrimoine, le HBIM (Historic Building informatic model) semble être une solution de compilation, comparaison et de partage des données entre les différents acteurs de la recherche.

La création d'un modèle 3D d'un lieu a plusieurs objectifs. Il permet la visualisation et la manipulation des objets, que ce soit dans l'étude des lieux où la topographie est contraignante ou lors de travaux sur des objets trop fragiles pour être manipulés. L'analyse du modèle peut permettre de répondre à des questions ou en créer de nouvelles en faisant apparaître de nouveaux éléments et en permettant de nouveaux niveaux d'études. Enfin, en termes de communication, le modèle 3D s'adresse à un public plus large. (Pour un usage raisonné de la 3D en archéologie, Robert Vergnieux, 2016) Le rôle du géomètre sera alors de mettre en place des techniques d'acquisition des données ainsi que leur modélisation offrant un niveau de détail suffisant à l'analyse d'un site dans son ensemble. Il sera responsable de la restitution et notamment de la résolution des conflits structurels ou entre les structures et la topographie, là où l'archéologue répondra aux questions historiques existantes ou dévoilées par la création du modèle.

Nous étudierions dans un premier temps l'utilisation des différentes sources de données en archéologie médiévale ainsi que la place du modèle HBIM dans un contexte de reconstitution archéologique. Ensuite, nous mettrons en place les méthodes d'acquisition et de restitution des données dans le cadre de l'étude du village de Saint-Martin-de-Londres. Enfin, nous effectuerons une étude comparative des éléments topographiques et architecturaux mesurés avec les différentes sources historiques.

I L'archéologie médiévale, une recherche pluridisciplinaire

I.1 L'archéologie médiévale aujourd'hui

I.1.1 Une discipline « récente »

L'époque médiévale a longtemps été considérée comme peu légitime face à la Préhistoire et l'Antiquité qui marquent le début d'une histoire commune. (Manuel d'archéologie médiévale et moderne, J. Burnouf, F. Journot, 2012) Son étude s'est développée dans un premier temps à partir de l'étude de textes au XVII^{ème} siècle. A la Révolution française, le passage des objets médiévaux dans les biens communs de la nation influence les premiers historiens médiévistes et participe à la diffusion d'une certaine image du Moyen Âge (Luc Bourgeois, Archéologie Médiévale). Il faut attendre les années 1820 pour voir apparaître des méthodes d'archéologie médiévale, notamment avec les travaux de J. S. Cotman et Dawson Turner avec la parution en 1830 du *Cours d'antiquité monumentales*. Cette méthode s'appuie sur l'analyse précise des monuments et des traits architecturaux afin de les classer par époque. (Maylis Baylé, Biographie d'Arcisse de Caumont). A la fin du XIX^e siècle, les apports de l'archéologie, considérée encore comme une science auxiliaire, sont largement négligés dans l'étude de l'époque médiévale. Malgré les travaux d'Eugène Viollet-Le-Duc qui pose les fondements des travaux d'archéologie du bâti, en particulier avec la restauration de la basilique de Vézelay.

Il faut attendre les années 70 pour voir un réel développement de cette discipline. En effet, les grands travaux de réinvestissement des centres-villes et le développement des grandes infrastructures vont mener à une « érosion de l'histoire » (Luc Bourgeois). Cette perte de données entraîne progressivement le développement de l'archéologie préventive. Aujourd'hui, les opérations d'archéologie préventive sont majoritaires en complément de l'archéologie programmée répondant uniquement à des objectifs de recherche.

I.1.2 Pourquoi effectuer une recherche archéologique ?

Une étude archéologique, programmée ou préventive, a souvent de multiples objectifs tels que la conservation du patrimoine, la production de connaissances et la diffusion des résultats au plus grand nombre.

I.1.2.1 L'étude et la conservation du patrimoine

La conservation du patrimoine historique est un des principaux objectifs de l'archéologie. Comme précisé précédemment, les missions d'archéologie préventive sont aujourd'hui majoritaires. D'après le ministère de la Culture, elle « consiste à détecter et à sauvegarder les éléments du patrimoine archéologique affectés ou susceptibles d'être affectés et détruits par les travaux d'aménagement public ou privé ». En effet, l'archéologie dite du « sauvetage » a vu le jour dans les années 70, afin de limiter la perte d'informations liées à la destruction des sites lors de travaux d'aménagement. C'est en 2001 que le terme « archéologie préventive » est établi avec la loi du 17 janvier 2001. Elle stipule que « L'État veille à la conciliation des exigences respectives de la recherche scientifique, de la conservation du patrimoine et du développement économique et social. Il prescrit les mesures visant à la détection, à la conservation ou à la sauvegarde par l'étude scientifique du patrimoine archéologique, désigne le responsable scientifique de toute opération d'archéologie préventive et assure les missions de contrôle et d'évaluation de ces opérations. » (Loi n° 2001-44 du 17 janvier 2001 relative à l'archéologie préventive). Article 2, alinéa 1) : La réalisation de diagnostics en préalable aux différents chantiers permet alors de ne plus aménager au détriment de la recherche, mais au contraire favorise la découverte de nouveaux vestiges ainsi que leurs études approfondies. (INRAP)

I.1.2.2 La production de connaissances

L'archéologie est une science vivante et interdisciplinaire qui bénéficie grandement des évolutions techniques. Les avancées dans les méthodes d'acquisition des données et dans leur traitement permettent une réinterprétation de l'histoire et une meilleure compréhension des enjeux actuels. (INRAP). En moyenne, 1000 opérations d'archéologie programmée sont autorisées chaque année. Elles ont pour but de réaliser une recherche scientifique spécifique sur un ou plusieurs sites archéologiques. (L'archéologie programmée, culture.gouv.fr)

I.1.2.3 La diffusion au plus grand nombre

Diffuser la connaissance au plus grand nombre est le troisième objectif des archéologues. Ce partage peut être fait au travers de différents moyens tels que la publication d'articles, la diffusion dans des musées, les démonstrations ou encore les maquettes.

Le projet de Guédelon est un exemple concret de cette diffusion. Il s'agit d'un projet d'archéologie expérimentale de construction d'un château fort neuf en recherchant les méthodes de construction médiévale. En complément de cette recherche des différentes techniques, un réel effort de vulgarisation du déroulement des travaux est mis en place. En effet, le chantier est ouvert au public afin de pouvoir partager les résultats des expérimentations. Différents ateliers (taille de pierre, fabrication de cordes...) permettent d'inclure le visiteur dans la démarche. (guedelon.fr)

I.2 Des données hétérogènes.

De nombreuses sources de données entrent en jeu lorsqu'il s'agit d'étudier un site archéologique. Ces données peuvent être d'origines diverses, regroupant aussi bien les travaux et documents d'archives que les observations et prélèvements effectués sur le terrain.

I.2.1 Les archives

Les archives concernant un site de fouilles pour les périodes historiques sont, avant les observations sur le terrain, les premières sources d'information pour le chercheur. Elles peuvent prendre différentes formes et avoir plusieurs origines (archives privées ou publiques).

- Les documents écrits : ils permettent de retracer l'histoire d'un site, que ce soit au travers d'actes administratifs, de mémoires d'entretien ou de construction. Il peut aussi s'agir de documents réalisés lors de campagnes précédentes dans le cadre de recherches historiques ou archéologiques.

- Différents plans : notamment les compoix, plans terriers et plans cadastraux successifs. Mis en place avec l'apparition de la fiscalité, ils constituent un témoignage des différentes assiettes foncières et sont majoritairement conservés aux archives publiques.

- Les documents iconographiques : cette catégorie regroupe tous les éléments représentant le site de manière complète ou partielle. On retrouve alors les représentations graphiques (croquis, aquarelles, gravures...) et les photographies. Ils sont les marqueurs d'un état du site à une période de l'histoire. Il faut toutefois être vigilant dans le cas des représentations manuelles qui peuvent être biaisées par l'artiste par choix esthétique.

Les différentes archives archéologiques sont majoritairement considérées comme des archives publiques. Leur accès et utilisation sont permis, sous réserve du respect du

droit d'auteur. En ce qui concerne les archives électroniques, leur accès peut être compliqué, l'utilisation de support de conservation aujourd'hui obsolète les rendant illisibles (cartouches, disquettes...). (Guide et méthode de l'archéologie, A. Lehoërff et al. 2020, p 40 – 98)

I.2.2 Les observations et prélèvements.

Les sources « terrain » de l'archéologie sont nombreuses. Elles permettent une appréhension physique et concrète d'un objet d'étude. En effet, suivant les chantiers, la nature ainsi que le nombre d'éléments observables peuvent grandement varier. L'observation de tous les éléments composant un site et de leur positionnement entre eux a une importance capitale dans le travail de l'archéologue, d'autant plus qu'il doit parfois détruire une partie des vestiges pour pouvoir atteindre une nouvelle couche stratigraphique ou étudier les matériaux composant un objet afin d'en établir la provenance et l'époque de fabrication. Le géoréférencement d'un site et des éléments le constituant est alors indispensable pour garder une trace de sa composition générale.

L'apparition des outils d'imagerie 3D a permis l'évolution des méthodes de terrain. Là où en archéologie du bâti il était nécessaire de retranscrire sur un calque les différents éléments composant un bâtiment afin d'en effectuer l'analyse pierre à pierre, l'utilisation de la photogrammétrie et la création d'orthoimage permet aujourd'hui une reproduction numérique ainsi que l'optimisation des levés sur le terrain. Les progrès technologiques ont aussi permis l'évolution de la prospection archéologique. L'utilisation du drone et du LIDAR permet l'étude d'un terrain à grande échelle et ainsi la découverte de sites à fort intérêt historique. Cette technique a, par exemple, permis de mettre en lumière le site maya de La Cuernavilla au Guatemala jusqu'à aujourd'hui inconnu ou encore l'étendue de la cité de Tikal. L'utilisation de filtres pour retirer les masques tels que les arbres permettent en effet de révéler des structures auparavant invisibles.(national geographic) (figure 1)

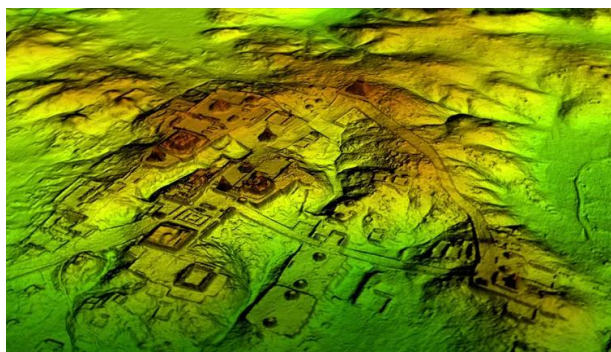


Figure 1: Le levé Lidar de la cité Maya de Tikal permet la visualisation de structures masquées par la végétation.

Source : Photographie de Wild Blue Media,
National Geographic

L'analyse des observations et prélèvements au travers de différentes méthodes pour retracer une chronologie du site étudié.

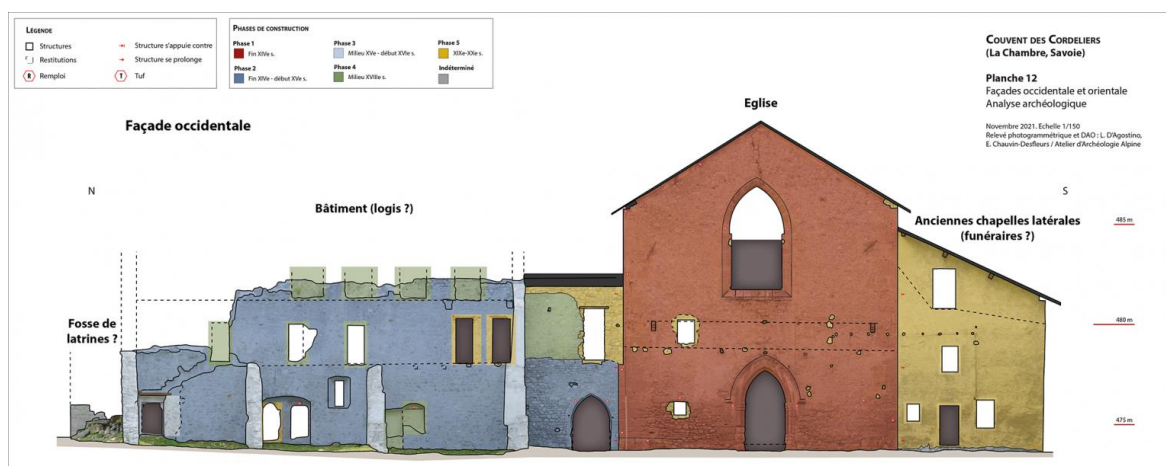
I.3 Les méthodes d'analyse

I.3.1 L'archéologie du bâti

Apparue dans les années 1990-2000, l'archéologie du bâti a aujourd'hui encore une place ambiguë entre méthodes et disciplines. Alice Vanetti remarque que selon la personne interrogée, sa définition va être radicalement différente : « certains désignent l'archéologie du bâti comme un ensemble de méthodes d'observation, de techniques d'acquisition des données, vouées à l'établissement de chronologies absolues et relatives Concernant un édifice bien déterminé. D'autres la considèrent comme un domaine qui interagit avec les outils de l'archéologie préventive pour la mise en valeur du patrimoine construit. D'autres, enfin, soulignent plutôt sa dimension de science historique, dont l'objectif final est l'approfondissement du contexte économique, social et politique ayant présidé à l'acte de construire dans le temps.» (A. Vanetti, Archéologie du bâti, méthode ou discipline ? Histoire et épistémologie d'un domaine scientifique controversé, 2022). Cette discipline a en partie été développée par les archéologues médiévistes qui étendent les méthodes d'études stratigraphiques des sols aux élévations des bâtiments (Figure 2). Dans ce contexte, l'archéologie du bâti peut être considérée comme une méthode d'analyse qui vient alimenter les connaissances sur un lieu en complément des autres méthodes.

Figure 2 : Analyse stratigraphique du couvent des Cordeliers, la Chambre, Savoie

Source : <https://atelier-archeo-alpine.com/wp-content/uploads/2022/03/Fig02-1536x1092.png>



I.3.2 Les méthodes de datation.

Pour établir une chronologie d'un site, il est nécessaire de dater les éléments le composant. Pour cela, il existe plusieurs méthodes pouvant être citées en deux groupes : les méthodes de datation relatives et absolues. Il n'est pas rare d'utiliser plusieurs méthodes différentes pour obtenir une datation plus précise d'un site ou d'un objet.

I.3.2.1 Les méthodes de datation relatives

Ce sont les méthodes qui permettent de dater un site en comparant les éléments le composant entre eux ou en le classifiant parmi un ensemble de vestiges déjà datés. Parmi ces méthodes, on retrouve :

- La stratigraphie, cela consiste en l'étude de plusieurs couches archéologiques permettant d'établir un rapport d'antériorité en prenant compte des modifications naturelles ou artificielles.
- La typochronologie, elle se base sur l'évolution des caractéristiques des objets en les comparant à un corpus.
- La sériation, l'analyse statistique des éléments composant un lieu permet d'établir une hiérarchisation chronologique. Cette méthode permet, par exemple, de déterminer des schémas d'extension de site.

I.3.2.2 Les méthodes de datation absolue

Les méthodes de datation absolue utilisent des mesures et des analyses physico-chimiques pour dater un échantillon. Il existe quatre grandes familles de méthodes de datation absolue.

- La dendrochronologie : elle se base sur l'étude des cernes des troncs d'arbres pour établir une chronologie de la vie de l'arbre. La croissance d'un arbre varie en fonction de son essence, des conditions climatiques ou encore de l'exposition au soleil. La comparaison de la structure des cernes d'un arbre avec une base de données d'une même essence permet de dater un arbre mais aussi ses conditions de croissance. C'est une technique très intéressante pour l'archéologue, elle permet une datation précise d'un bois (6 mois – 1 an). Néanmoins, elle nécessite des échantillons de bois suffisamment importants pour lire la succession de cernes.

- Les méthodes isotopiques ou radiométriques : il est possible de déterminer l'âge d'un matériau en mesurant la proportion d'isotopes radioactifs par rapport aux isotopes stables. Ces méthodes reposent sur la loi de décroissance exponentielle des éléments radioactifs, la demi-vie. La datation par carbone 14 est la méthode isotopique la plus connue et la plus utilisée. Elle permet de dater des matériaux organiques avec une précision de quelques décennies pour des périodes allant jusqu'à 40 000 ans, au-delà le taux d'isotopes devient trop faible. Il est important de noter qu'il est possible de dater le matériau et non pas l'événement dans lequel il a été utilisé.
- Les méthodes de physique du solide comme la datation par thermoluminescence qui s'appuie sur la capacité des cristaux de quartz à récupérer de l'énergie entre deux cuissons et à la libérer sous forme de rayonnements lumineux à la cuisson suivante. Il est alors possible de mesurer le temps écoulé entre deux cuissons.
- L'archéomagnétisme qui étudie la date de chauffe d'un échantillon en analysant le sens du champ magnétique enregistré par la matière au moment de la cuisson. Il permet de déterminer un ensemble de dates dont le champ magnétique avait le même sens, il faut combiner d'autres méthodes de datation pour obtenir une date précise.

Ces différentes méthodes possèdent des périodes d'application ainsi que des degrés d'incertitude différents, il est donc nécessaire de les adapter aux sujets étudiés. Les différents résultats obtenus serviront de justification dans les choix de restitution.

I.4 La place du modèle HBIM dans la restitution archéologique

I.4.1 Un outil en développement

Un HBIM (Historic ou Heritage BIM) est la représentation d'un bâtiment patrimonial et/ou historique en suivant une logique de représentation BIM. Aujourd'hui, la technologie HBIM est principalement utilisée dans le cadre de la gestion des bâtiments patrimoniaux, mais son utilisation dans le cadre d'un projet de recherche archéologique est encore en développement.

Le 22 janvier 2024, Sandrine Borel-Dubourg et Marc Panneau ont présenté le processus d'utilisation du HBIM dans le cadre des recherches sur l'amphithéâtre d'Orange. Ce projet porte une volonté de mise en application des technologies HBIM à des fins de

gestion du patrimoine et de recherche archéologique. L'utilisation du modèle BIM dans le cadre de l'étude du bâtiment permettrait une mutualisation des connaissances entre les différents domaines d'expertise, mais aussi d'éprouver des hypothèses en mettant en place différentes simulations et en permettant des observations géospatiales difficilement réalisables sans modélisation tridimensionnelle. (Pour un Théâtre Antique Intelligent et Connecté 2, LRA). Cette réflexion d'élargir l'utilisation du BIM au domaine historique est présente en France comme à l'international. Dès 2013, Le temple d'Uni sur le site Etrusque de Marzabotto a été le chantier d'étude et d'expérimentation concernant la mise en place d'un modèle ArchéoBim (Simone Garagnani et al., FROM THE ARCHAEOLOGICAL RECORD TO ARCHAEOBIM: THE CASE STUDY OF THE ETRUSCAN TEMPLE OF UNI IN MARZABOTTO, Virtual Archeology review, 2016). Plus récemment, Laura Carpentiero et Dora d'Auria ont étudié la mise en place de bibliothèques paramétrées dans le cas de l'étude de bâtiments antiques. (Laura Carpentiero, Dora d'Auria. Operative tools for BIM in archaeology: libraries of archaeological parametric IFC objects., Archeologia e Calcolatori, 2023, pp.69-76.)

I.4.2 Les limites du HBIM appliqué à l'archéologie du bâti

La création de modèles archéologiques suivant la technologie HBIM pose encore aujourd'hui de nombreux défis.

Premièrement les logiciels de modélisation 3D sont adaptés à projet de construction, on assemble différents éléments de structure paramétrés qui une fois assemblés permettent de réaliser une analyse du bâtiment, en fonction des informations intégrées aux familles utilisés, et générer un modèle (Matteo Lombardi et al., 2024). L'archéologue cherche à suivre le processus inverse. Il part d'un modèle comme un nuage de points et détermine les différents éléments le composant par l'analyse de ses observations et des archives préexistantes.

Un deuxième défi à l'utilisation de technologies adaptées du BIM en archéologie est la rigidité des modèles. En effet, suivant les données étudiées, les époques ou encore les lieux étudiés, les structures peuvent grandement varier et un modèle fonctionnant dans le cas d'une recherche pourra être inutilisable pour un sujet différent.

Le modèle final est souvent représenté avec un aspect réaliste bien qu'un certain degré d'approximation géométrique soit parfois nécessaire pour simplifier l'utilisation du modèle. Les travaux de Matteo Lombardi ainsi que le mémoire d'Alexandre Retat (2023)

développent une autre problématique : quel niveau de détail pour quel niveau d'information ? Pour répondre à cette question, A. Retat a déterminé une catégorisation adaptant le niveau de détail en fonction du niveau d'information, le LOR (Level of Reliability). Le chercheur doit alors faire des choix de restitution en fonction de ses observations et conclusions et déterminer comment différencier un élément existant d'une construction détruite ou théorique.

Le dernier obstacle rencontré lors de la création de modèles archéologiques numériques est la conservation des données. Si aujourd'hui ils permettent de conserver des traces de vestiges menacés, la pérennité de ces données est-elle assurée ? (Robert Vergnienx, 2016) Cette question se pose, car aujourd'hui il devient très difficile de lire des données enregistrées sur des disquettes, résultant ainsi à la perte d'archives.

Enfin Robert Vergnienx précise qu'une représentation 3D ne constitue pas en elle-même un élément de preuve, elle doit être démontrée par un discours scientifique et pourra être remise en cause dans le futur.

II Modélisation de l'évolution du village de Saint-Martin-de-

Londres

II.1 État des connaissances concernant le village de Saint-Martin-de-Londres

Le village de Saint-Martin-de-Londres a déjà fait l'objet de recherche archéologique et d'études par les historiens. Celles-ci permettent de situer le prieuré et les différentes enceintes dans un contexte historique et de poser différentes hypothèses concernant son évolution. Ces différents travaux s'appuient principalement sur les cartulaires de l'abbaye de Gellone et de Maguelone. Ces documents, bien qu'incomplets, car ne précisent que les actes légitimant le pouvoir de l'Église, constituent une importante source d'informations concernant l'évolution du village. En plus de ces écrits, les historiens et archéologues peuvent s'appuyer sur les illustrations de J-M. Amelin, ce professeur de dessin de Montpellier ayant réalisé en 1822 différentes vues précises du village permettant, ainsi que le cadastre napoléonien de 1829, de visualiser certains éléments n'existant plus aujourd'hui.

II.1.1 Les différentes campagnes de recherche

La morphogenèse du village est depuis longtemps étudiée par les historiens. En 1909, l'abbé Emile Bougette et Benoit Doumergue utilisent les cartulaires pour effectuer une analyse historique et architecturale du village dans leur ouvrage « Histoire du pays de Londres ». En 1950, le bibliothécaire et historien de l'art Jean Valléry-Radot, expose en détail l'évolution du prieuré et de l'église dans son article « L'église de Saint-Martin-de-Londres ». Ainsi que l'analyse de l'église par Robert Saint-Jean dans son ouvrage *Le Languedoc roman* sur l'architecture romane du Languedoc.

Ces différents textes serviront d'appui aux recherches archéologiques menées lors de la rénovation de l'église par les Monuments historiques et dont Philippe Troncin détaille les résultats dans son article de 1996 « *Apport de l'archéologie et histoire de l'église romane à Saint-Martin-de-Londres (Hérault)* » des découvertes effectuées lors de sondages au sein de l'église et du jardin du presbytère entre 1989 et 1995. Un second article paru dans *Études Héraultaises* en 1998 et écrit par Gérard Alzieu détaille plus particulièrement les événements entourant la démolition de la tour clocher de l'église. Cet événement est représentatif des relations pouvant avoir lieu entre le seigneur laïque et le prieur, mais est aussi une source d'information sur les fortifications pouvant avoir eu lieu à Saint-Martin-de-Londres.

Ces différents documents servent de base d'études pour différents travaux au XXI^e siècle. Notamment le travail de Valérie Martin, qui étudie majoritairement l'église dans son mémoire « *L'église de Saint-Martin-de-Londres (Hérault), étude historique et archéologique d'un édifice roman du bas-Languedoc* », soutenue en 2002. Il convient aussi de citer le travail de Vivien Vassal, « *Une fortification collective tardive intégrant un espace fortifié plus ancien : structuration et origine des deux enceintes de Saint-Martin-de-Londres (34)* », présentées en 2017 lors du colloque de Pommiers-en-Forez. Il s'intéresse particulièrement aux clôtures comme système défensif et établit des plans des enceintes du prieuré et du village plus précis que ceux réalisés par l'abbé Bougette un siècle auparavant.

Enfin, il est important de citer deux travaux universitaires plus récents. En premier lieu, la thèse de doctorat de Thomas Robardet-Caffin, *Du manse à la place-forte, ou de l'architecture d'origine féodale dans la région du Pic Saint-Loup, du XII^e au XVII^e siècle*, soutenue en 2021. Il y fait l'état des différentes formes et architectures des clôtures dans la région du Pic Saint-Loup et notamment le prieuré et l'enceinte villageoise de Saint Martin.

L'étude la plus récente reste le mémoire de Florian Hémary, *l'enceinte priorale de Saint-Martin-de-Londres* (2022), sujet proposé et co-encadré par Frédérik Letterlé. Après une étude approfondie de l'histoire du village, il dresse l'état des vestiges existantes grâce à la technique du pierre à pierre.

II.1.2 Le contexte historique

L'histoire de Saint-Martin-de-Londres est connue à partir du XI^{ème} siècle bien que des traces d'occupations bien antérieures à cette époque soient présentes. À partir de 1088, les cartulaires de Gellone et de Maguelone font état de donations successives des Guilhem de Montarnaud envers les moines de Gellone. En 1162 le rapport d'une transaction permet d'établir que le prieur possède l'enclos du cimetière, un four, l'église, le clocher, et l'interdiction d'exhausser le clocher ou de fortifier l'église. Il revient au seigneur une tour ainsi que l'autorisation d'en construire une nouvelle. (Philippe TRONCIN, Apport de l'archéologie et histoire de l'église romane à Saint-Martin-de-Londres, *Études Héraultaises* n°26-27, 1996). L'interdiction de fortifier l'église n'a pas été respectée comme le montre la démolition de la tour en 1247, cette démolition entraînant la destruction d'une partie de la nef de l'église et sa reconstruction aux frais de l'évêque de Gellone. (Gérard ALZIEU, Un épisode oublié de l'histoire de Saint-Martin-de-Londres : la démolition de la tour construite contre l'église (1247), *Études Héraultaises* n° 28, 1998). Peu après cet épisode le prieur Bernard de Bruguières fit l'acquisition de l'entièreté de la seigneurie de Saint-Martin-de-Londres. La date précise de l'acte n'est pas connue, mais l'hommage du prieur à l'évêque de Maguelone le 7 avril 1255 permet de situer l'époque de la transaction. (F. Hémary)

En 1592, la seigneurie de Saint-Martin-de-Londres fut vendue au baron de la Roquette afin de permettre la restauration de l'abbaye de Saint-Guilhem-le-Dessert saccagé et ruiné en 1568. Il faudra attendre 1689 pour que les bénédictins de Saint-Maur obtiennent la restitution de la seigneurie.

Au XIX^e siècle l'église fut soumise à différents travaux d'embellissement et d'agrandissement, notamment l'agrandissement de la nef par l'ajout d'une travée supplémentaire. L'église fut ensuite classée au titre des monuments historiques en 1900 et rénovée en 1932. (F. Hémary)

II.1.3 Les hypothèses existantes concernant l'évolution du village

Entre 1909 et 2018 les hypothèses concernant l'évolution du village de Saint-Martin ont peu évolué. Le plan de Vivien Vassal (Figure 4) reprend les tracés de l'abbé Bougette (Figure 3). Ils font l'état de deux enceintes distinctes. Une première (en rouge) délimite le prieuré et une seconde vient s'y accoler sous la forme d'un rempart villageois.

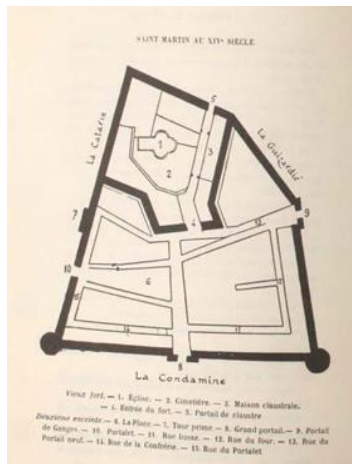


Figure 3 : Première hypothèse de succession d'enceintes par E. Bougette en 1909.
Source : Histoire du pays de Londres, E.Bougette

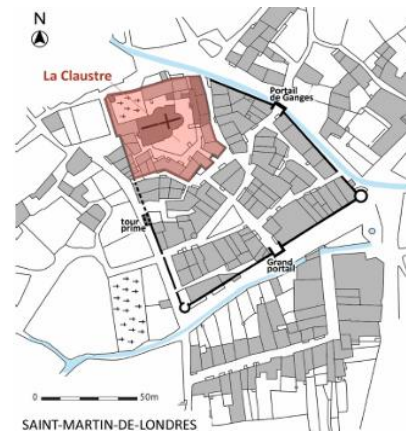


Figure 4: Première hypothèse de succession d'enceintes par V.Vassal
Source : V.Vassal

Suite aux observations et hypothèses de F. Letterlé, les analyses réalisées par F. Hémerly en 2022 ont permis de confirmer l'existence de plusieurs étapes dans l'évolution des enceintes priorales : la possibilité d'une première clôture quadrangulaire (Figure 6, en vert), respectant un espace de protection de 30 pas autour des églises rappelé dans l'article de Philippe Troncin. La demande de prospection thématique de F. Letterlé et M. Seguin, en 2023, a différents objectifs : confirmer les limites de la première enceinte priorale, vérifier l'hypothèse d'une enceinte villageoise antérieure à celle du XVe siècle (figure 5, tracé noir) et étudier le fonctionnement de cette dernière. C'est dans le cadre de cette prospection thématique que prend place ce travail par convention entre l'ESGT, le CNRS et le laboratoire ArAr.

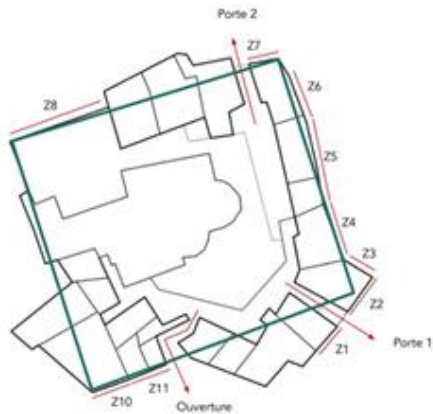


Figure 6 : L'hypothèse d'une première enceinte carrée

Source : F. Hémary



Figure 5: Les possibles enceintes successives

Source: F. Letterlé

II.2 L'acquisition des données topographiques

L'acquisition des données topographiques s'est effectuée au cours de deux campagnes de mesure distinctes. La première, au mois de mars 2024, avait pour objectif de réaliser un lever 3D des différents éléments d'enceinte du village ainsi que de l'église. Une partie du village n'a pu être levée à cause de travaux se déroulant à la même période. Une deuxième campagne de mesures a donc été organisée en mai, afin de compléter les levés au scanner 3D, mais aussi pour compléter les mesures à l'aide de levés photogrammétriques.

L'objectif de ces deux campagnes était de réaliser des mesures géoréférencées des différents éléments architecturaux du village afin de les analyser pour rétablir une chronologie de l'évolution des différentes enceintes.

II.2.1 La stratégie de levée

Les différentes enceintes ont été levées à l'aide d'un scanner 3D Faro Focus. Le nuage de points de l'ensemble du village a été réalisé grâce à un total de 148 stations principalement en extérieur. Lorsque cela était possible, des intérieurs ont été levés pour matérialiser des épaisseurs de murs ainsi que certaines structures architecturales. Un pas de 7 mm à 10 m entre les points a été choisi pour assurer une densité permettant l'analyse des repères architecturaux.

Les différents nuages ont été liés ensemble au sein d'un même groupe de mesures à l'aide de cibles sphériques. Cependant, les levés se déroulant sur plusieurs jours, il n'était pas possible de laisser les cibles en place lorsqu'il n'y avait personne sur le terrain. Les

Lors de la deuxième campagne de mesure, nous avons réalisé des levés photogrammétriques à différents endroits de la première enceinte ainsi qu'à l'intérieur de la tour de l'horloge. Les photos ont été réalisées à l'aide d'un appareil Linux DMC-TZ70 avec une focale 4 mm et une perche pouvant monter jusqu'à 6m. Nous nous sommes concentrés sur deux points particuliers de l'enceinte, l'angle entre la rue du Torrent de Toulouse et la rue de l'Estamaire ainsi que l'angle entre la rue des remparts et la rue de l'Église. Afin de garantir la qualité des orthoimages finales, un recouvrement horizontal de 80 % et vertical de 50 % a été choisi. Le tableau 1 montre les résultats des calculs des bases horizontales et verticales, t représente la taille d'un pixel sur le capteur, f la distance focale en mm, npl et nph les dimensions du capteur en pixels, L et H les dimensions de l'image sur le mur, B et A la taille des bases horizontales et verticales calculées et tps la taille d'un pixel sur le mur. Un total de 462 photos a été réalisé sur le premier site et 950 sur le deuxième.

recouvrement horizontale= 0,8									
recouvrement verticale = 0,5		t (m)= 1,50174E-06							
recole (m)	f	npl	nph	E	L m	H m	B m	A m	tps m
2	0,004	4000	2248	465,116	2,794	1,570	0,56	0,79	0,00070
2,5	0,004	4000	2248	581,395	3,492	1,963	0,70	0,98	0,00087
3	0,004	4000	2248	697,674	4,191	2,355	0,84	1,18	0,00105
3,5	0,004	4000	2248	813,953	4,889	2,748	0,98	1,37	0,00122

Tableau 1 : Calcul des bases pour le levé photogrammétrique.

II.2.2 Le traitement des données.

Le traitement des différents scanners a été réalisé grâce au logiciel Recap de la suite Autodesk. Un premier recalage entre les stations d'une même demi-journée a été réalisé grâce aux cibles. Ensuite, un recalage nuage-nuage a été effectué pour assembler les nuages de chaque demi-journée en un nuage global. Afin de géoréférencer le nuage final, les coordonnées des cibles levées à la station totale ont été appliquées lors du recalage des différents scanners. La quantité de données du nuage complet étant trop importante pour l'ordinateur, les deux campagnes de mesures ont été traitées séparément lors des calculs et de l'analyse des nuages obtenus. On obtient un RMS de 30 mm pour le premier nuage et 25 mm pour le second, et une densité de 5 mm entre les points pour les zones comportant le plus de détails. Ces résultats permettent un niveau de précision suffisant dans le cadre

de la recherche archéologique. Les deux nuages ont ensuite été sous-échantillonnés à 20 mm entre chaque point afin de pouvoir être fusionnés et former un nuage global. (figure 6)

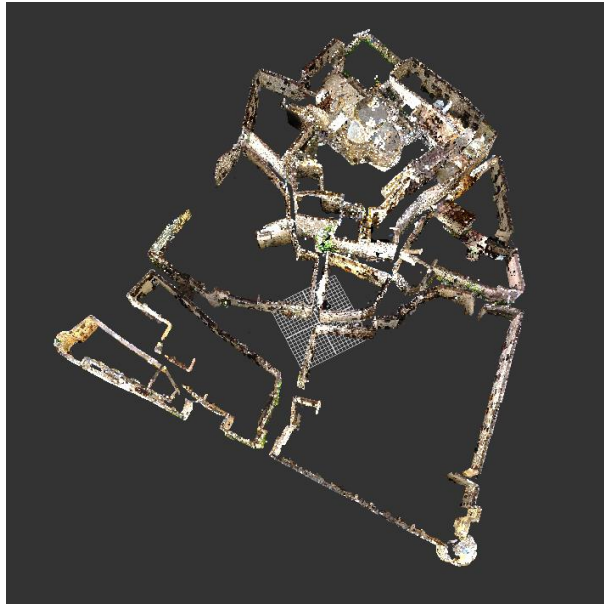


Figure 8: Nuage de l'ensemble du levé

Source : Production personnelle

L'analyse du nuage de points nous a montré une perte de détails importante dans les zones comportant une forte différence de luminosité (Figure 10). Afin de pallier cette perte d'information, il a été choisi, comme précisé précédemment, de faire un lever photogrammétrique de deux zones à fort intérêt archéologique lors de la deuxième campagne de mesure.

Le traitement photogrammétrique a été réalisé grâce au logiciel Metashape. L'utilisation de références levées et géoréférencées a permis un alignement des captures avec une erreur totale de 0.011 m sur les points de liaison. La création d'un maillage, d'une texture et d'une orthoimage ont permis d'obtenir une vue suffisamment détaillée pour réaliser une analyse pierre à pierre des façades (figure 9). Cependant, la hauteur de la perche étant limitée, il n'est pas possible de traiter l'élévation de la façade dans son entièreté là où le scanner permet une vue sur toute la hauteur. L'utilisation d'un drone aurait pu permettre une prise de vue sur la hauteur totale du mur, mais l'étroitesse de la rue ainsi que le manque de moyens matériels ont empêché l'utilisation de cette méthode.



Figure 10: Nuage de points de la façade à l'angle de la rue des remparts avec une perte de détail due à une luminosité importante



Figure 9: Orthoimage de la façade à l'angle de la rue des remparts

II.2.3 La création d'un modèle HBIM

La création du modèle HBIM a été réalisée à l'aide du logiciel de la suite Autodesk Revit. Un premier modèle numérique aurait pu être réalisé en appliquant un maillage et une texture au nuage de points. Cette méthode a comme principal avantage de permettre une reproduction parfaite des formes et des volumes du nuage. Cependant, l'existence de zones vides peut entraîner une déformation du maillage et donc une perte d'information sur les détails fins. Cette méthode ne prend pas en compte les altérations du lieu au cours du temps, il faut alors analyser le modèle pour tirer les conclusions chronologiques permettant une restitution. Afin de représenter tous les objets permettant la compréhension du lieu, il faut utiliser d'un nuage de points denses rendant les traitements informatiques coûteux en temps et en puissance.

Afin de réduire les traitements nécessaires, il a été décidé de travailler directement à partir du nuage de points. Si cette méthode permet de s'abstenir de la création d'un maillage et d'une texture, la rigidité des logiciels de modélisation reste un obstacle. Dans le cas du logiciel Revit, il est très intuitif de recréer des formes géométriques simples et de nombreuses familles de composants sont préexistantes et modifiables. Malheureusement, les vestiges sont rarement composés de structures génériques et il faut très souvent recréer les composants. De plus, la méthode de création des géométries complexes limite la possibilité d'ajouts de détails fins. Il faut donc faire des choix de représentation entre le niveau de détail souhaité, les capacités du logiciel et le temps disponible.

Enfin, il est important de se positionner sur la fiabilité des résultats restitués et comment représenter ces différents niveaux de connaissances. Quatre niveaux différents ont été déterminés :

- Les éléments encore visibles, dont la chronologie peut être retracée grâce aux observations et aux archives.
- Les éléments non visibles dont l'existence et la position sont avérées par les archives et l'étude des vestiges proches.
- les éléments déduits par l'étude des vestiges proches
- Les éléments déduits par l'étude des archives et dont les données les confirmant sont faibles.

Croiser les résultats obtenus lors de la création du nuage de points et des orthoimages avec les sources historiques permet d'établir une chronologie de l'évolution du village et sa restitution.

III L'étude comparative des éléments topographiques et architecturaux existant avec les différentes sources historiques

L'étude des différents éléments topographiques et architecturaux a permis de mettre en évidence certains détails concernant l'évolution du prieuré et de l'enceinte villageoise, venant préciser les hypothèses déduites par F. Letterlé à partir d'observations des élévations et du cadastre napoléonien. Ce travail a aussi permis de réaliser un plan de l'église exacte, mettant notamment en évidence l'asymétrie des absidioles nord et sud.

III.1 Le prieuré

III.1.1 Une succession d'enceintes

Il a été précisé précédemment que la cession de Saint-Martin-de-Londres au prieur s'est déroulée en plusieurs étapes avec en particulier des donations successives entre 1088 et 1162. Différents éléments peuvent permettre d'estimer une première évolution de l'enceinte priorale. (Figures 11 et 12)



Figure 11: Légende

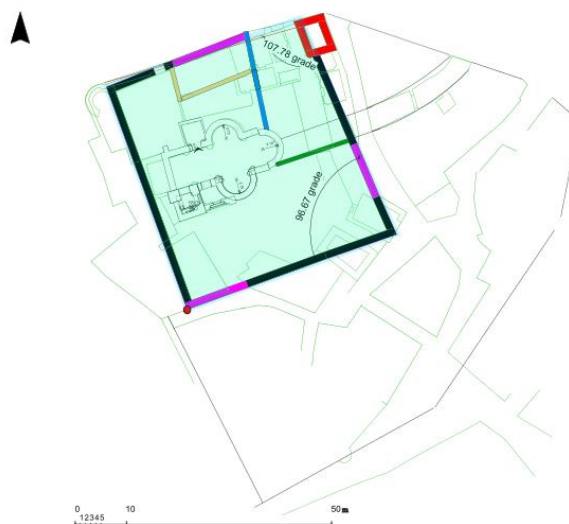


Figure 12: Plan des clôtures nécessaires dans le cas d'une première enceinte carrée

Ce plan montre une première enceinte priorale carrée avec l'église en son centre. Elle respecte les distances de protection des églises (zone bleu clair). Ce plan a été réalisé en s'appuyant sur la présence de murs médiévaux visibles (tracés roses) formant des angles qui peuvent être considérés comme droits au vu des méthodes de construction de l'époque.

La présence d'une ligne de rupture ou « coup de sabre » entre deux bâtiments de la rue de l'Église permet de situer le quatrième côté. (point rouge) L'analyse pierre à pierre de cette façade permet une meilleure visualisation des différentes étapes de développement de l'enceinte. (Figure 13)



Figure 13: Analyse pierre à pierre rue de l'Église

Le détail le plus remarquable dans cette vue est la ligne de rupture (ligne bleue) qui montre une discontinuité dans la construction. Cela implique qu'il s'agit de deux bâtiments distincts accolés l'un à l'autre. Afin de déterminer une chronologie dans la construction, il faut s'intéresser aux techniques utilisées. Chaque zone de couleur correspond à une époque de construction différente. L'utilisation de blocs de pierre plus imposants en base du bâtiment de droite (zone jaune) montre son antériorité par rapport à la base du bâtiment de gauche (zone orange) qui ne présente pas de chaînage d'angle à droite sur la figure. Les lignes noires marquent les zones où l'analyse du bâti est altérée par la création d'ouvertures à des époques plus tardives.

La modélisation de plusieurs intérieurs nous a permis plusieurs observations figurées sur le plan (Figure 12).

- Le bâtiment représenté en rouge possède des murs épais, 1,40 m en moyenne pour les quatre côtés. Cela montre le rôle défensif de la construction, il est possible qu'il s'agisse de la tour du seigneur mentionnée dans la transaction de 1162.
- Le mur bleu possède une archère bouchée encore visible. Ce type d'ouverture montre que le mur séparant aujourd'hui deux bâtiments a donné sur l'extérieur formant une première limite en s'adossant à l'église.

Le mur vert a été démoli autour de 1825 : il est représenté dans les dessins d'Amelin de 1822, mais plus sur le cadastre napoléonien de 1829. Ces dessins, bien que pouvant être biaisés par choix esthétique, sont suffisamment précis pour nous permettre de déterminer la position relative ainsi que la hauteur de ce mur. (Figure 14, encadré rouge) Le rôle de clôture de cette structure est démontré par sa taille, mais aussi par la présence de marches, visibles sur la représentation de Jean-Joseph-Bonaventure réalisée peu après la démolition. (Figure 13, encadré rouge). L'étude des textes de l'Abbé Bougette nous permet de dater sa démolition en 1823. Ces structures sont sans doute la marque d'un accès à un chemin de ronde.

La présence de ces murs de clôture autour du prieuré peut-être la marque de l'évolution de sa surface au fur et à mesure des différentes donations ayant eu lieu entre 1088 et 1166.

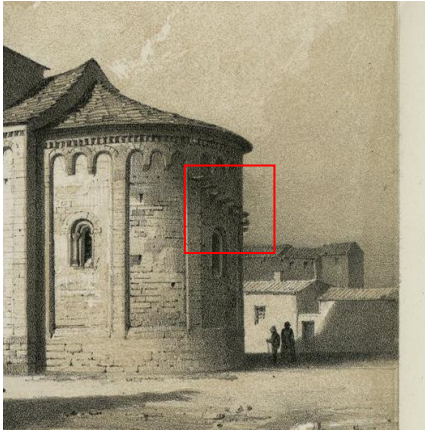


Figure 14: L'accès au chemin de ronde
Source : l'église de Saint-Martin-de-Londres, Jean-Joseph-Bonaventure, Montpellier Méditerranée Métropole, 10022RES_PL.27



Figure 15: Vue de l'église par Amelin présentant le mur démoli depuis
Source : A Saint-Martin-de-Londres, Jean-Marie Amelin, Montpellier Méditerranée Métropole, 01652RES-08-197

Deux accès successifs à l'enceinte priorale peuvent être envisagés.

- Le premier au nord de l'église donnant dans l'actuel jardin du presbytère. Un décrochement dans le mur ouest du logent prioral (figure 17, encadré rouge) marque un départ d'arc pouvant donner accès à une bretèche surplombant une porte simple, d'autant plus qu'une bretèche est visible sur une des illustrations d'Amelin. (Figure 16, encadré rouge)

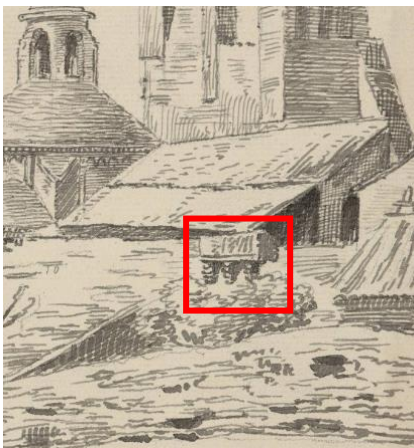


Figure 16 : représentation d'une bretèche par Amelin
Source : Route de Gange à Montpellier, Jean-Marie Amelin, Montpellier Méditerranée Métropole, 01652RES-08-194



Figure 17: Façade ouest du logis prioral

- Un deuxième accès pourrait se situer à l'ouest de l'enceinte face au chevet de l'église dans la continuité de l'accès de la première enceinte villageoise dont nous parlerons plus tard. Cet accès reste hypothétique, car il n'est mentionné ni figuré dans aucun document.
- Ces différents accès pouvaient prendre la forme d'un arc simple dans la muraille protégé par une bretèche comme cela se faisait à l'époque. (Figures 18 et 19)



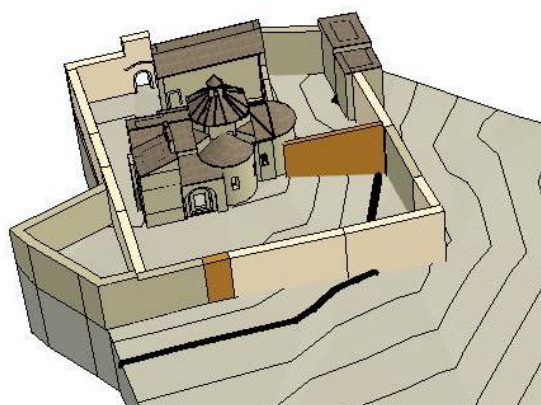
Figure 19: Face extérieure d'une porte simple à Laroque
Source : Photographie, F. Letterlé



Figure 18: Face intérieure d'une porte simple à bretèche à Laroque
Source : Photographie, F. Letterlé

Pour la modélisation (Figure 20), une figuration différenciée a été choisie en fonction de la certitude des éléments. Les structures encore visibles ont été texturées avec un aspect réaliste, les éléments positionnables mais détruits ont un aspect uni marron et les éléments déduits des observations et des archives ont un aspect uni beige.

Figure 20: Modélisation de la première enceinte du prieuré



III.1.2 Une enceinte étendue au XIII^e siècle

Peu avant 1255 le prieur est le seul seigneur du village, il peut donc étendre l'enceinte du prieuré, mais aussi le fortifier, l'interdiction existante au préalable n'ayant plus de raison d'être. (Figure 21)



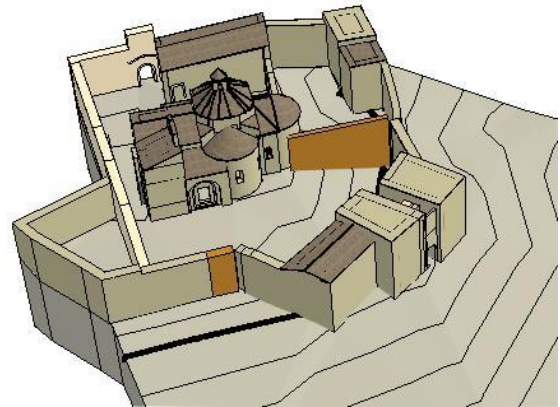
Figure 21: Plan du prieuré au XIII^e siècle

Différents témoins de cette extension sont visibles encore aujourd'hui. (Tracé rose) Le relevé pierre à pierre évoqué précédemment montre que le bâtiment situé au sud-ouest de l'enceinte est adossé au mur de la clôture carrée montre qu'il a été construit postérieurement. Il en va de même pour les bâtiments au sud de l'enceinte qui, bien que la jonction ne soit plus visible à la suite de l'ouverture d'un passage vers la place de l'église, ont été réalisés avec des techniques de construction plus récentes que les sections composant la première enceinte. La section arrondie au nord-est du prieuré (ovale vert) pose quant à elle plus de questions. Pour qu'une tour puisse jouer pleinement son rôle défensif il est nécessaire qu'elle soit en avancée par rapport aux murailles, le mur actuel est cependant construit en limite de la tour. Cette position pourrait être due à une volonté de gagner de la place, le rôle de protection de la tour étant réduit par la construction du rempart villageois. De plus, il existe une rupture dans l'architecture entre la partie droite et la partie arrondie du mur. L'élargissement de l'enceinte à cet endroit conduit aussi à la fermeture du passage évoqué précédemment, remplacé par le portail encadré de deux tours (rouge et orange) au sud-est de l'enceinte.

En ce qui concerne les deux tours, elles ont deux styles architecturaux différents suggérant deux étapes de construction. La coupe en biseau de la tour ouest montre un élargissement ou l'aménagement d'un passage. La deuxième tour (orange) est d'apparence plus récente et est située en avancée par rapport à l'autre. La porte à assommoir actuelle vient alors s'appuyer en limite de la première tour, montrant alors une succession de phases de constructions. L'utilisation de techniques de taille différentes renforce cette hypothèse. (F.Hémery, 2022)

La figure 22 représente la modélisation de l'enceinte priorale dans la deuxième moitié du XIIIe siècle en suivant la même figuration que pour la modélisation de la première enceinte.

Figure 22: modélisation de l'enceinte priorale au 13e siècle



III.2 L'enceinte villageoise

Si le développement du prieuré est relativement connu jusqu'au XIIIe siècle, très peu de documents font référence à l'enceinte villageoise. Les dernières observations réalisées confirment l'hypothèse de F. Letterlé concernant l'existence d'une première enceinte villageoise antérieure à celle bien connue aujourd'hui datant du XVe siècle.

En effet, si aucun document ne fait mention d'une première enceinte villageoise, l'analyse des structures existantes permet d'établir au moins deux niveaux de construction.

Un premier mur est appuyé sur un mur lui-même adossé à l'enceinte priorale montrant qu'il a bien été construit après. On peut suivre le tracé de cette construction jusque l'emplacement de l'ancienne tour prime aujourd'hui démolie, mais encore visible sur le cadastre napoléonien. (Figure 23, encadré bleu).

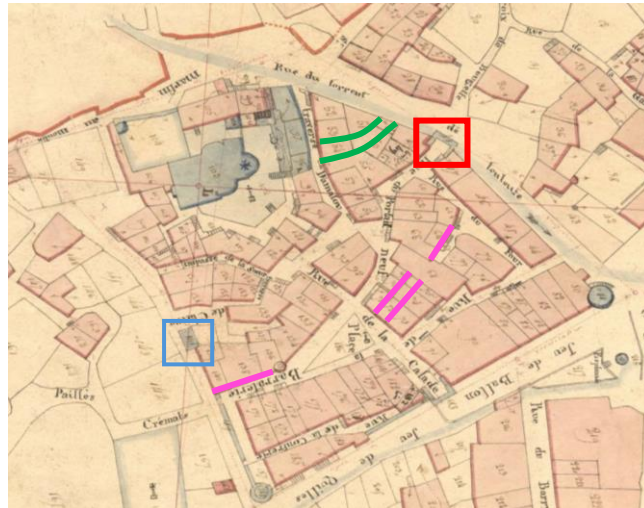


Figure 23 : Cadastre napoléonien

Source : Archives départementales de l'Hérault

Un deuxième mur médiéval vient s'appuyer au niveau de la tour nord-est évoquée précédemment. Celui-ci peut être suivi jusqu'au croisement de la rue du portail neuf et de la rue du torrent de Toulouse. Le cadastre napoléonien fait paraître une tour porte au niveau de ce croisement (encadré rouge).

Les marques visibles pouvant représenter le troisième côté de l'enceinte sont très faibles. Les limites de parcelles présentes sur le cadastre napoléonien (rose) peuvent être un indice concernant sa position avant la construction des maisons. Les bâtiments auraient été appuyés sur le rempart, utilisant la limite déjà existante. Afin de confirmer cette hypothèse, une étude plus approfondie de ces éléments serait nécessaire.

Enfin, l'existence d'une courtine entre la tour Prime et la rue du Pourtalet est vraisemblable.

Le cadastre figure aussi deux limites courbes relativement parallèles (vertes). Cela pourrait être la marque d'un passage menant au prieuré condamné après l'ouverture des autres accès. Le levé de l'intérieur du bâtiment occupant ces parcelles montre deux murs médiévaux. On peut aussi observer au niveau de la rue du Torrent de Toulouse un épaissement du rempart dans sa hauteur. Cette particularité peut être due au passage d'un chemin de ronde au-dessus d'une porte à assommoir ou à bretèche. Cette porte

correspondrait à l'entrée de la première enceinte villageoise menant jusqu'à l'entrée du prieuré, évoquée précédemment.

Si l'étude du bâti nous permet d'établir l'existence d'une première enceinte villageoise, il reste difficile de retracer sa surface réelle sans plus d'éléments de preuve physiques ou descriptions détaillées précises. La figure 24 montre un tracé théorique de l'enceinte. Les tracés roses représentent les murs médiévaux encore visibles sur le terrain, le rouge représente le tracé théorique établi à partir du cadastre et le bleu figure le passage jusqu'au prieuré.



Figure 24: Tracé théorique de la première enceinte villageoise

Pour la modélisation (figure 25), en plus des textures établies précédemment, l'enceinte théorique apparaît en blanc car elle possède un niveau de confiance inférieure. Le passage est représenté en orange, malgré l'existence physique des murs, il existe trop peu d'informations pour assurer la véracité de son utilisation.

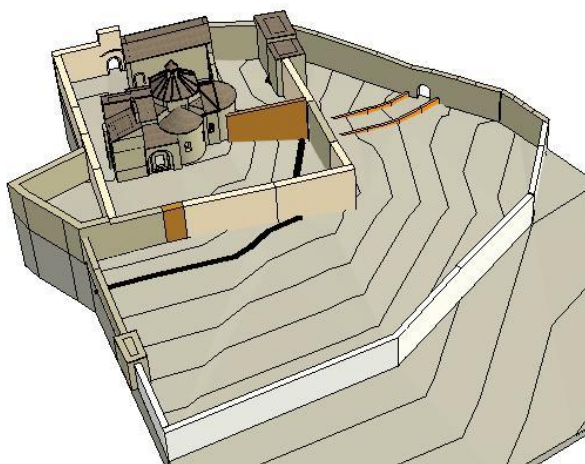


Figure 25: Modèle 3D de la première enceinte villageoise théorique

III.2.1 La deuxième enceinte villageoise

La position de la deuxième enceinte villageoise ne pose aujourd'hui aucune question. Il est possible de suivre son tracé sur sa quasi-entièreté en dehors des tours portes. En effet, seules les tours en fer à cheval situées aux angles de la rue de l'Ayet sont encore visibles, les deux tours portes protégeant les entrées du village ont petit à petit été démontées pour faciliter le passage des véhicules. Néanmoins, elles figurent toujours sur le cadastre napoléonien

La bonne conservation de ce rempart permet une étude du niveau du terrain naturel avant les travaux de mise à niveau du terrain pour permettre le passage des voitures. A différents endroits de l'enceinte récente, il est possible de voir une ligne de rupture dans les élévations (Figure 25, tracé rouge). Ce décrochement marque le passage du chemin de ronde et donc la hauteur du mur à l'époque de sa construction, soit entre 6.5m et 7m auquel il faut ajouter la hauteur du parapet amenant à une hauteur finale entre 8m et 8,5m. Si ce type de structure est commun, il est plus rare d'y trouver des décrochements (encadré vert) montrant une volonté de suivre le terrain naturel en gardant une hauteur d'enceinte constante. En utilisant la hauteur entre le chemin de ronde et le terrain naturel visible à certains endroits de l'enceinte, on peut donc retracer les anciens dénivelés.

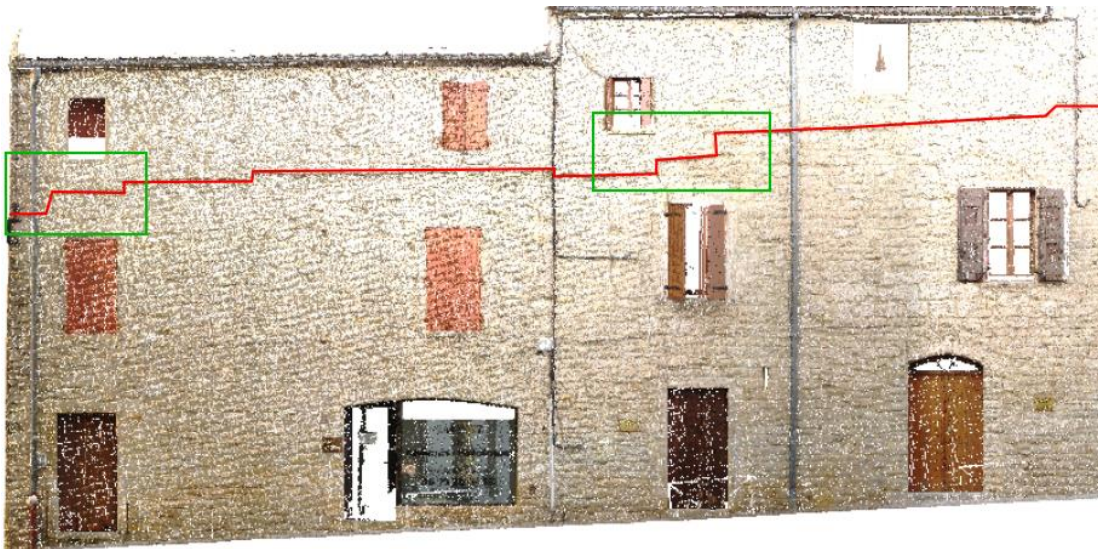


Figure 26: Tracé du chemin de ronde sur l'enceinte villageoise tardive

Conclusion

L'ajout de données spatiales aux archives préexistantes a permis une nouvelle interprétation de la chronologie des différentes enceintes du village de Saint-Martin-de-Londres (Annexe 1). La création d'un modèle tridimensionnel à partir de mesures laser, scanner et photogrammétriques mis en relation avec les ressources historiques alimente le débat sur le développement architectural du village. D'autre part, le levé intérieur et extérieur de l'église a permis l'élaboration d'un plan exact de l'église, les précédents étant imprécis (Annexes 2 et 3). L'archéologue s'appuie sur ces nouvelles données pour déterminer un modèle plus cohérent des hypothèses préexistantes, mais aussi établir de nouvelles idées sur des secteurs encore peu étudiés. De nombreuses questions restent en suspens comme la position de la tour seigneuriale, la certification de l'existence d'une première enceinte villageoise ainsi que ses limites ou encore la présence d'un cloître et sa position. Afin de compléter la chronologie existante, l'apport de nouvelles informations par le biais d'archives redécouvertes ou d'observations utilisant d'autres technologies comme le drone ou la datation carbone 14 sont nécessaires.

La création de modèle HBIM adapté à la recherche archéologique est aujourd'hui encore sujette à de nombreuses difficultés. Comme pour toute forme de restitution, il est le résultat de choix menant à une représentation possible d'un état. Cette représentation peut évoluer au cours de la campagne de recherche ou à l'occasion de nouvelles observations et nouveaux levés. Le modèle n'est donc pas un moyen de preuve, mais un moyen de mise en relation et de visualisation des données.

L'ingénieur géomètre peut avoir différents apports dans la recherche archéologique. Son analyse du territoire peut amener un nouveau point de vue à l'archéologue. Dans le cas de Saint-Martin-de-Londres, un élargissement de la zone d'étude pourrait permettre une meilleure compréhension de son évolution et de sa place dans la dynamique du Pays de Londres et des axes de circulation et de commerce s'y croisant.

En tant qu'ingénieur géomètre, ce travail m'a permis d'utiliser les méthodes d'acquisition et de restitution dans un but de création de connaissances historiques. Le mode de réflexion obtenu au cours de ma formation m'a permis d'appréhender les différents enjeux de la restitution des enceintes de Saint-Martin-de-Londres et ainsi mettre en place des méthodes de mesure et de restitution permettant un niveau de détail suffisant à l'analyse archéologique.

Liste des figures

Figure 1: Le levé Lidar de la cité Maya de Tikal permet la visualisation de structures masquées par la végétation.....	12
Figure 2 : Analyse stratigraphique du couvent des Cordeliers, la Chambre, Savoie	13
Figure 3 : Première hypothèse de succession d'enceintes par E. Bougette en 1909.....	20
Figure 4: Première hypothèse de succession d'enceintes par V.Vassal.....	20
Figure 5: Les possibles enceintes successives.....	21
Figure 6 : L'hypothèse d'une première enceinte carrée	21
Figure 7 : Le cheminement polygonal.....	22
Figure 8: Nuage de l'ensemble du levé.....	24
Figure 9: Orthoimage de la façade à l'angle de la rue des remparts	25
Figure 10: Nuage de points de la façade à l'angle de la rue des remparts avec une perte de détail due à une luminosité importante.....	25
Figure 11: Légende	27
Figure 12: Plan des clôtures nécessaires dans le cas d'une première enceinte carrée	27
Figure 13: Analyse pierre à pierre rue de l'Eglise	27
Figure 14:L'accès au chemin de ronde	29
Figure 15: Vue de l'église par Amelin présentant le mur démoli	29
Figure 16 : représentation d'une bretèche par Amelin.....	29
Figure 17: Façade ouest du logis prioral	29
Figure 19: Face intérieure d'une porte simple à bretèche à Laroque.....	30
Figure 18: Face extérieure d'une porte simple à Laroque	30
Figure 20: Modélisation de la première enceinte du prieuré.....	30
Figure 21: Plan du prieuré au XIIIe siècle	31
Figure 22: modélisation de l'enceinte prieurale au 13e siècle	32
Figure 23 : Cadastre napoléonien.....	33
Figure 24: Tracé théorique de la première enceinte villageoise.....	34
Figure 25: Modèle 3D de la première enceinte villageoise théorique.....	34
Figure 26: Tracé du chemin de ronde sur l'enceinte villageoise tardive	35

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Calcul des bases pour le levé photogrammétrique.....	23
--	----

Bibliographie

Ouvrages imprimés

- DEMOULE Jean-Paul, GILIGNY François, LEHOËRFF Anne *et al.* Guide des méthodes de l'archéologie. La Découverte, « Repères ». 2020.
- SAINT-JEAN Robert, Languedoc roman. Le Languedoc méditerranéen, Saint-Léger- Vauban, Zodiaque, 1975.

Chapitre dans un ouvrage imprimé

- DJINDJIAN François. La nature et les objectifs de l'archéologie. In : DJINDJIAN François. Paris, Armand Colin, « Collection U », 2011, p. 7-9
- BURNOUF Joëlle, JOURNOT Florence. Petite histoire de l'archéologie médiévale. In : Joëlle Burnouf éd. Manuel d'archéologie médiévale et moderne. Paris, Armand Colin, « Collection U », 2012, p. 13-46.
- Isabelle Cartron, Luc Bourgeois. Archéologie et histoire du Moyen Âge en France : du dialogue entre disciplines aux pratiques universitaires. In : Société des historiens médiévistes de l'Enseignement supérieur public. Être historien du Moyen Âge au XXIe siècle. Éditions de la Sorbonne, 2008 p. 133-148.

Travaux universitaires

- RÉTAT Alexandre. La maquette numérique au service de la restitution archéologique et de la valorisation du patrimoine bâti. Mémoire ingénieur CNAM géomètre et topographe, ESGT : Le Mans, 2023, 45 p. [en ligne] Disponible sur : <<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04412611/document>>. (consulté le 15 mars 2024).
- HÉMERY Florian. L'enceinte prieurale de Saint-Martin-de-Londres, mémoire de master 1, Université Paul Valéry Montpellier 3, 2022, 68 p.
- ROBARDIER-CAFFIN Thomas, Du manse à la place-forte, ou de l'architecture d'origine féodale dans la région du Pic-Saint-Loup, du XIIe au XVIIe siècle, thèse de doctorat Université Paul-Valéry Montpellier 3, 2021, 3 vol
- MARTIN Véronique, L'église de Saint-Martin-de-Londres (Hérault), étude historique et archéologique d'un édifice roman du bas-Languedoc, vol. 1-2, Mémoire de maîtrise d'histoire de l'art, Montpellier, Université de Montpellier 3, 2002
- LETTERLÉ Frederik, SEGUIN Maxime, Saint-Martin-de-Londres (Hérault), *Les enceintes successives d'un prieuré de l'abbaye de Gellone/St-Guilhem-le-Désert et du village accolé*, Demande de prospection thématique, 2024

Articles de périodiques imprimés

- TRONCIN Philippe. *Apport de l'archéologie et histoire de l'église romane à Saint-Martin-de-Londres (Hérault)*, Étude Héraultaise, 1996, Revue 1995-1996 n°26-27, p. 39-64
- ALZIEU Gérard. *Un épisode oublié de l'histoire de Saint-Martin-de-Londres : La démolition de la tour construite contre l'église (1247)*. Étude Héraultaise, 1998, revue 1997-1998, n°28-29, p. 17-19

Articles de périodiques électroniques

- VERGNIEUX Robert, GILIGNY François. *Pour un usage raisonné de la 3D en archéologie*. Les Nouvelles de l'archéologie, [en ligne], 2016, 146 . Disponible sur : <https://doi.org/10.4000/nda.3818>. (consulté le 15 avril 2024)
- LOMBARDI Matteo, RIZZI Dario. *Semantic modelling and HBIM: A new multidisciplinary workflow for archaeological heritage*, Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, Volume 32, 2024, [en ligne], Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.daach.2024.e00322> (consulté le 12 avril 2024)
- CARPENTIERO Laura, D'AURIA Dora. *Operative tools for BIM in archaeology: libraries of archaeological parametric IFC objects*. Archeologia e Calcolatori, 2023, 34.1, pp.69-76. [en ligne] Disponible sur : <https://shs.hal.science/halshs-03983859> (consulté le 12 avril 2024)
- BRUGVIN Emmanuel. *Théâtre antique d'Orange : premiers développements du HBIM à l'archéologie*, Travaux public et bâtiment du midi, 30 août 2022, [en ligne], Disponible sur : <https://mesinfos.fr/provence-alpes-cote-d-azur/theatre-antique-d-orange-premiers-developpements-du-hbim-a-l-archeologie-112353.html> (consulté le 16 avril 2024)
- DESSALES Hélène. *L'archéologie de la construction. Une nouvelle approche de l'architecture romaine*, Annales. Histoire, Sciences Sociales, 2017/1, 2017, p75-94, [en ligne], Disponible sur : <https://www.cairn.info/revue-Annales-2017-1-page-75.htm> (consulté le 06 juin 2024)

Sites web

- ARCHÉOLOGIE MÉDIÉVALE. In : Luc BOURGEOIS. *Encyclopædia Universalis*, [en ligne]. Disponible sur : <https://www.universalis-edu.com/encyclopedie/archeologie-medievale/2-premiers-resultats-et-nouvelles-orientations/> (consulté le 15 avril 2024)

- CAUMONT ARCISSE DE (1801-1873). In : Maylis BAYLÉ et Universalis, *Encyclopædia Universalis* . [en ligne]. Disponible sur : <https://www.universalis-edu.com/encyclopedie/arcisse-de-caumont> (consulté le 16 avril 2024).
- l'archéologie programmée. In : ministère de la culture. [en ligne]. Disponible sur : <https://www.culture.gouv.fr/Thematiques/archeologie/L-archeologie-en-France/les-operations-archeologiques/L-archeologie-programmee> (consulté le 30 mai 2024)
- Loi n° 2001-44 du 17 janvier 2001 relative à l'archéologie préventive, article 2, Légifrance, <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000221337/?isSuggest=true>, consulté le 30 mai 2024
- A quoi sert l'archéologie ? In : INRAP, [en ligne]. Disponible sur : <https://www.inrap.fr/magazine/Decouverte-de-l-archeologie/Connaitre-le-passe-pour-comprendre-notre-monde/A-quoi-sert-l-archeologie#undefined>, (consulté le 30 mai 2024)
- Qu'est-ce-que l'archéologie préventive ? In : INRAP [en ligne]. Disponible sur : <https://www.inrap.fr/l-archeologie-preventive-9838> (consulté le 28 mai 2024)
- La démarche scientifique. In : Guedelon, [en ligne]. Disponible sur : <https://www.guedelon.fr/la-demarche/>, (consulté le 03 juin 2024)
- Guatemala : des fortifications mayas révélées par la technologie LiDAR. In : TOM CLYNES, National Geographic, Disponible sur : <https://www.nationalgeographic.fr/histoire/guatemala-des-fortifications-mayas-reveeles-par-la-technologie-lidar> (consulté le 26 juin 2024)
- Le processus HBIM au service de l'étude archéologique : le cas du théâtre antique d'Orange. In : Sandrine Borel-Dubourg, Marc Panneau, Hypothèses, Un Théâtre Antique Intelligent et Connecté, Disponible sur : <https://taic.hypotheses.org> consulté le 15 avril 2024
- TAIC2. In : Laboratoire de recherche en architecture, Disponible sur : <https://lra.toulouse.archi.fr/lra/activites/projets/TAIC2> (consulté le 17 avril 2024)

Communication dans un congrès

- VANETTI Alice. Archéologie du bâti, méthode ou discipline ? Histoire et épistémologie d'un domaine scientifique controversé. In : Christian Sapin et al., Archéologie du bâti. Aujourd'hui et demain, Auxerre, 2022. Dijon : ARTEHIS Éditions, 2022, p. 113-128.

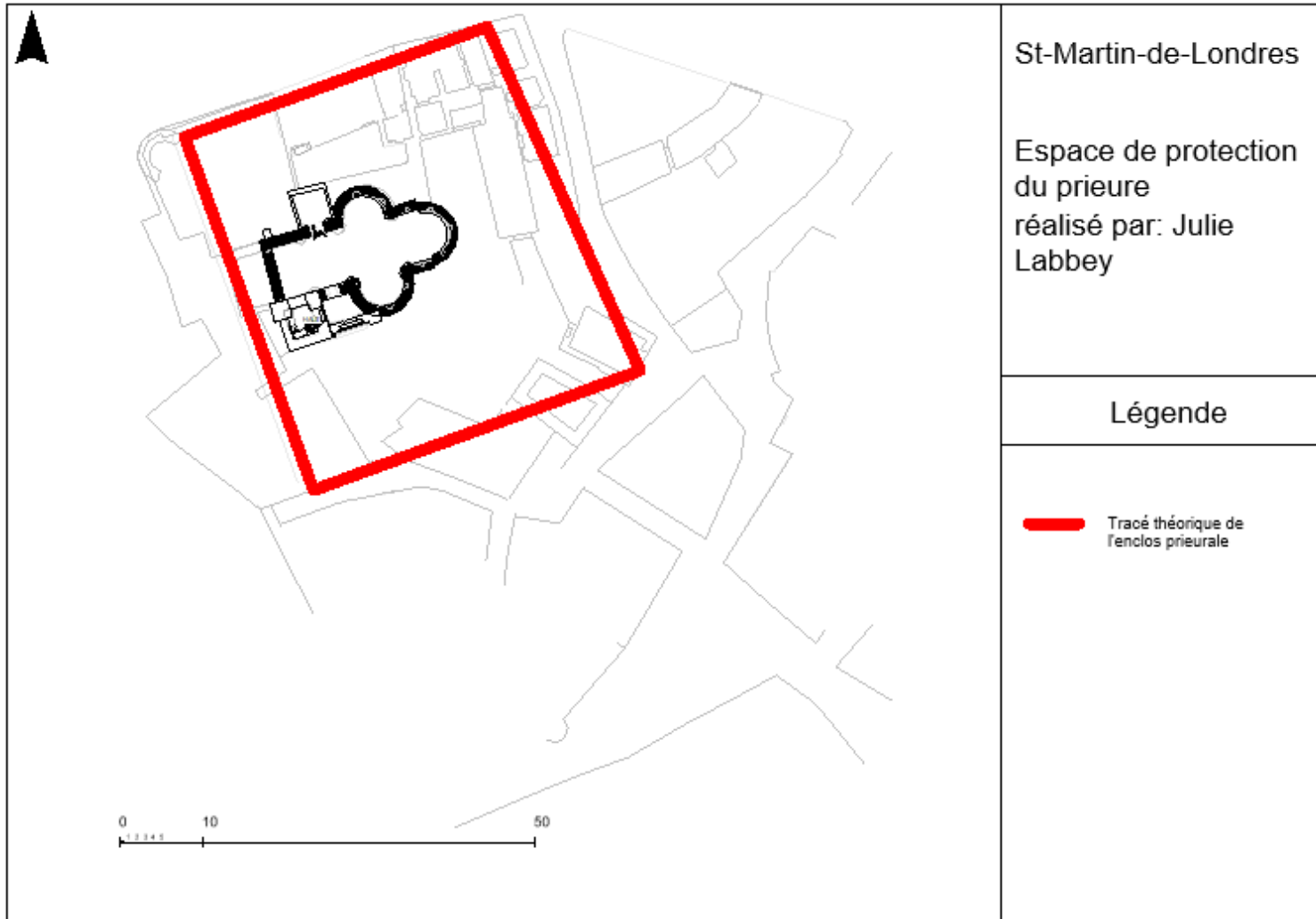
- VALLDECABRES García, GONZALES López, JORDAN Palomar et al. The Study of Architectural Heritage with HBIM Methodology. A Medieval Case Study. In : Castaño Perea, E., Echeverria Valiente, E. (eds) Architectural Draughtsmanship, Springer 2016 [en ligne] Disponible sur : https://doi.org/10.1007/978-3-319-58856-8_74 (consulté le 15 avril 2024)
- VASSAL Vivien. Une fortification collective tardive intégrant un espace fortifié plus ancien : structuration et origine des deux enceintes de Saint-Martin-de-Londres (Hérault). In : XIème Colloque biennal de Pommiers en Forez, Signes de pouvoir laïc et religieux au Moyen Âge, Pommiers en Forez, 2017 p. 37-57
- VALLÉRY-RADOT Jean, « L'église de Saint-Martin-de-Londres », Congrès archéologique de France. 108e session 1950 : Montpellier, Paris, Société française d'archéologie, 1951, pp. 146-155

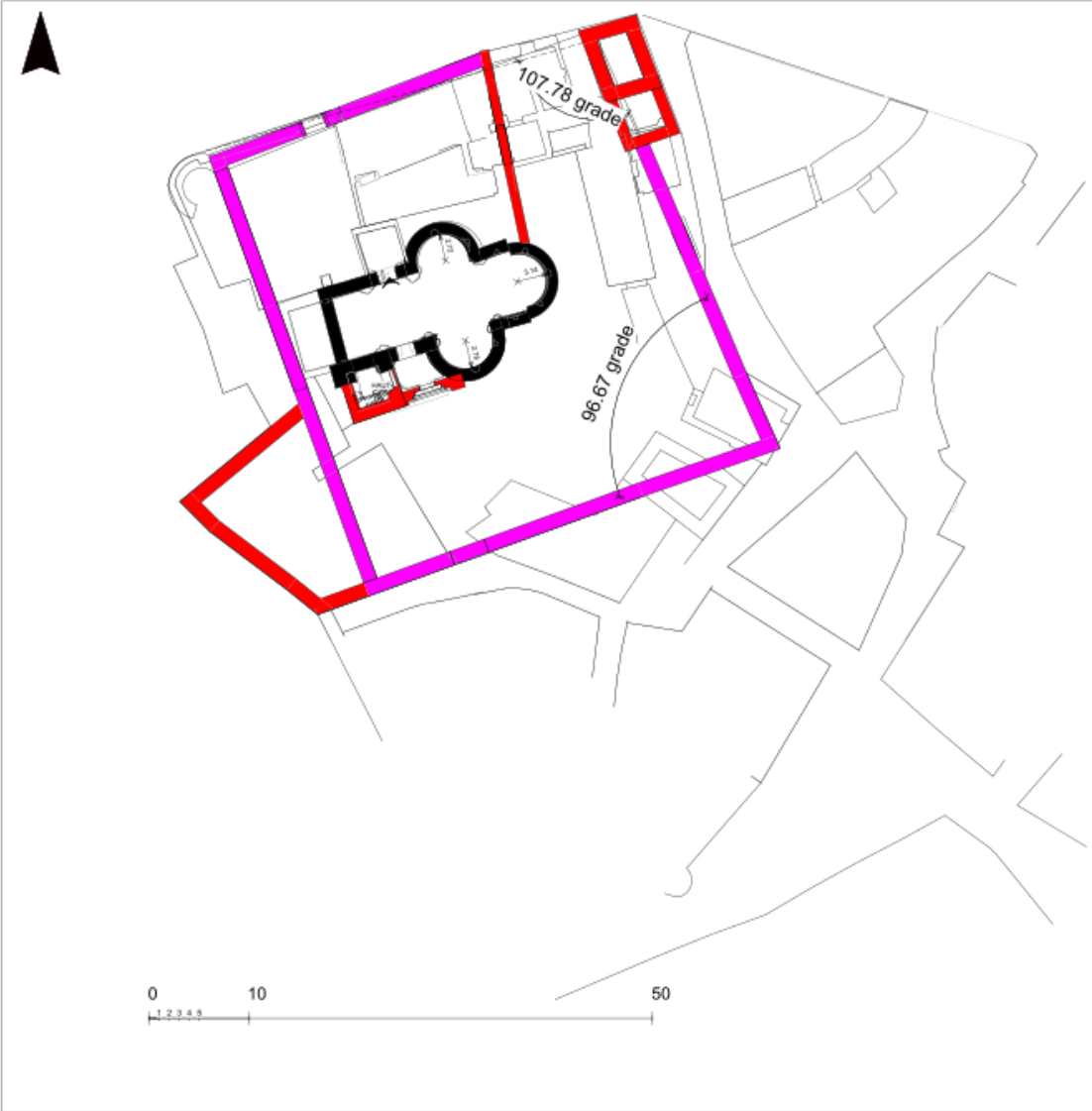
Table des annexes

Annexe 1 L'évolution du village de Saint-Martin-de-Londres	43
Annexe 2 L'église de Saint-martin-de-Londres	48
Annexe 3 Plan de l'église de Saint-Martin-de-Londres par l'architecte des monuments historiques	49

Annexe 1

L'évolution du village de Saint-Martin-de-Londres





St-Martin-de-Londres
 Première délimitation du prieuré
 réalisé par: Julie
 Labbey

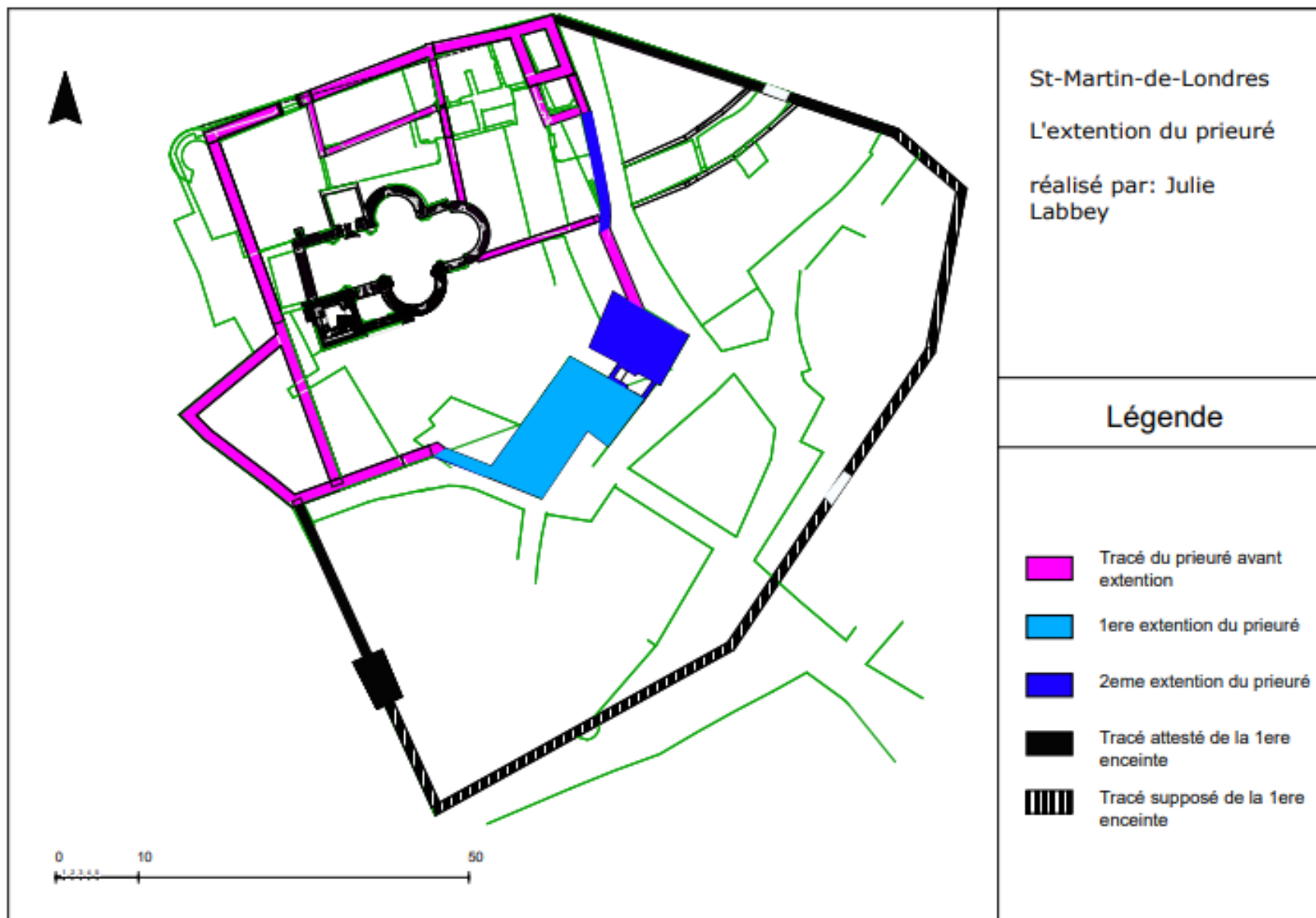
Légende

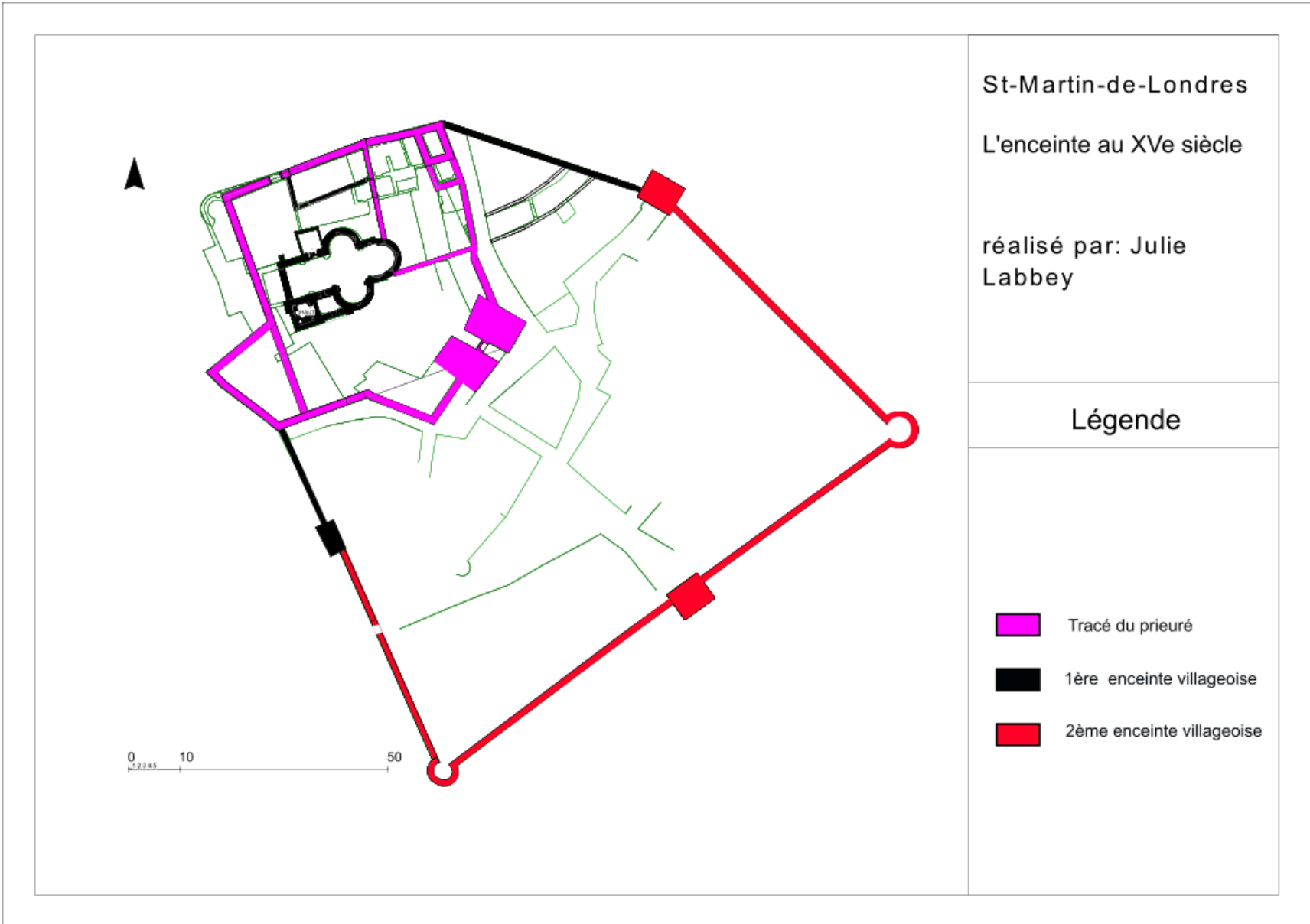
- Tracé du prieuré existant
- Evolution du prieuré

① Enceinte carré
 1 - 200

11/07/2004 16:14:27

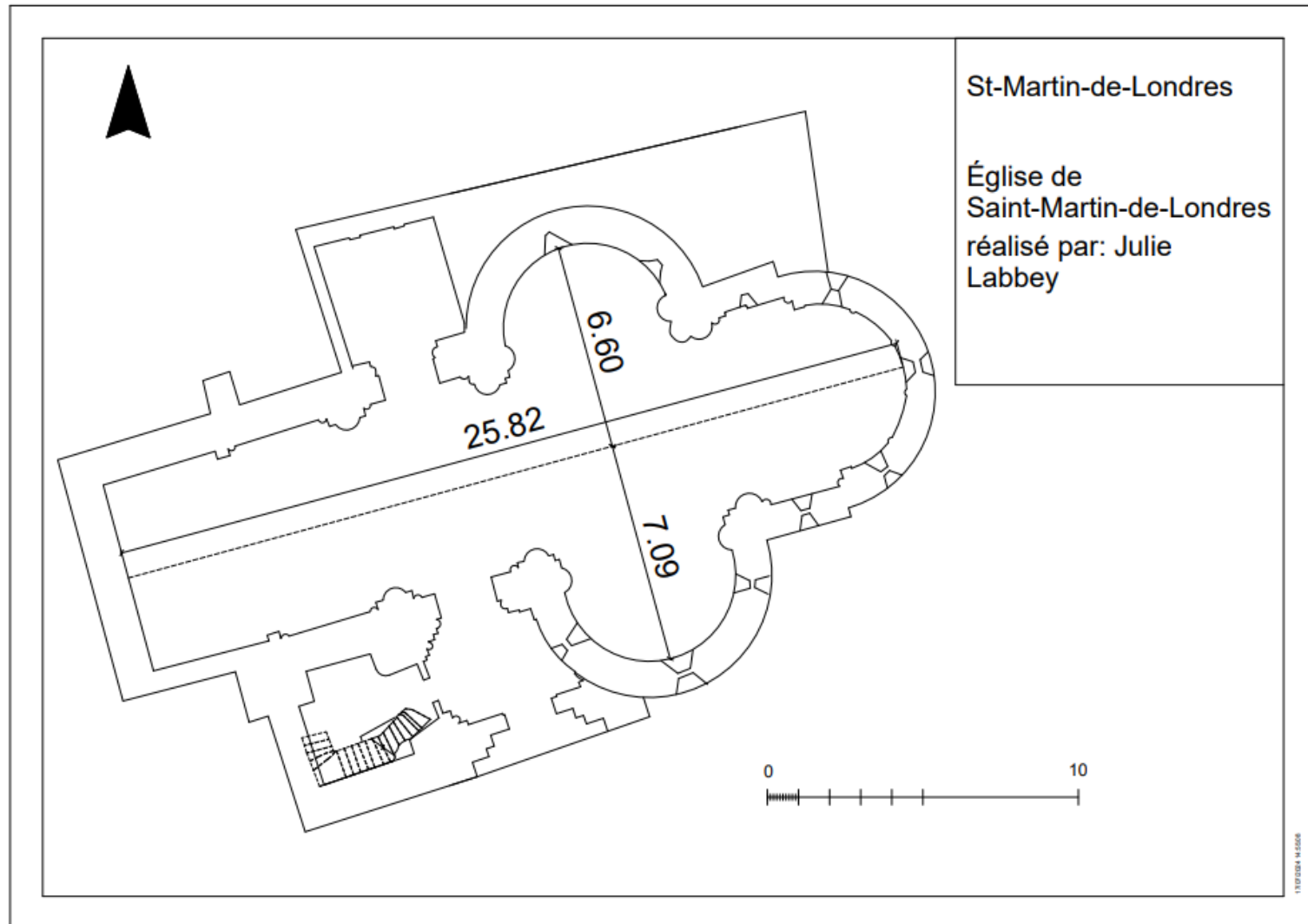






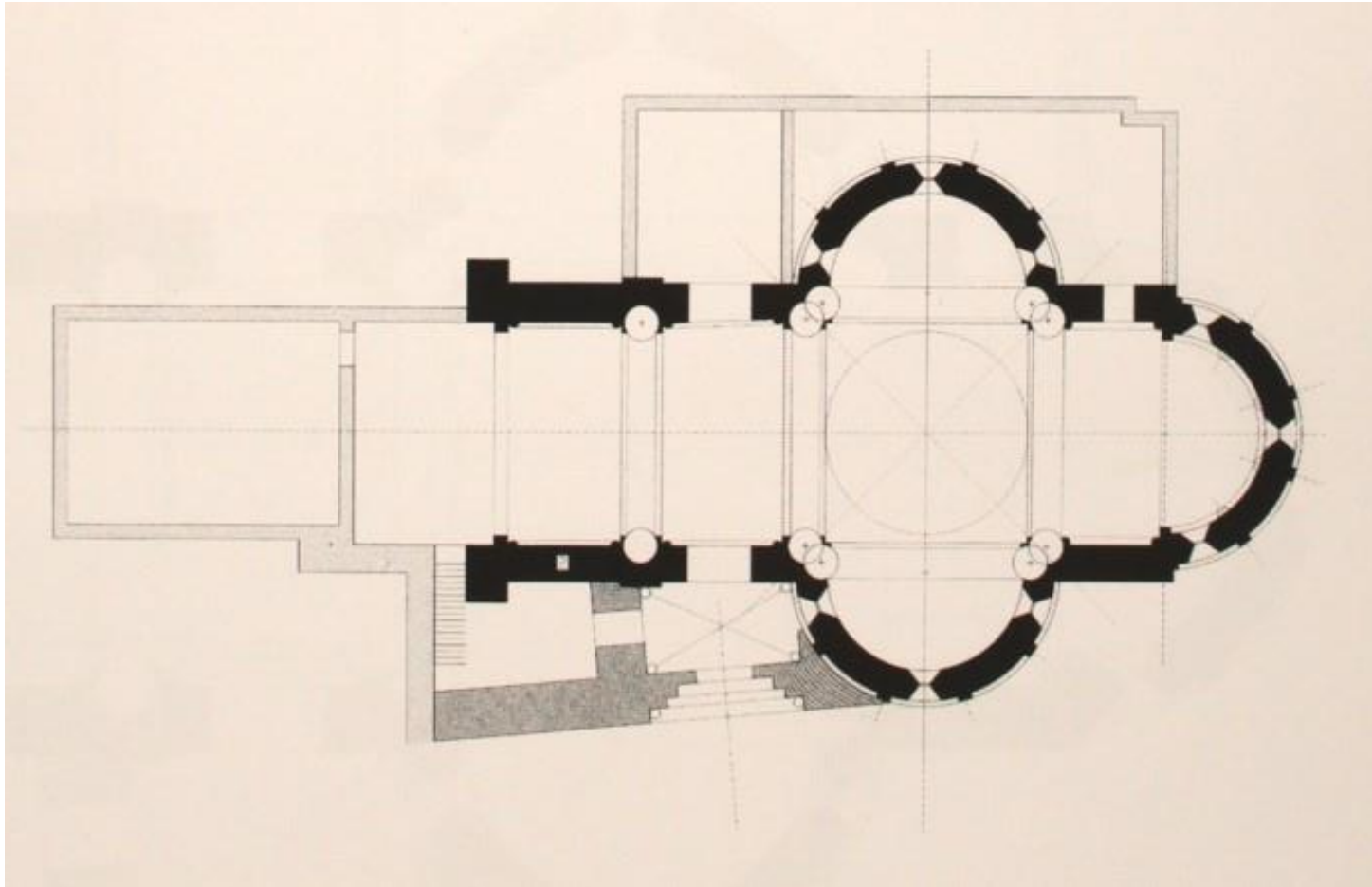
Annexe 2

L'église de Saint-Martin-de-Londres



Annexe 3

Plan de l'église de Saint-Martin-de-Londres par l'architecte des monuments historique



Étude de l'évolution d'un village médiéval de l'Hérault par combinaison de données hétérogènes (anciennes et acquises)

Mémoire d'Ingénieur C.N.A.M., Le Mans 2024

RESUME

L'archéologie médiévale est une recherche pluridisciplinaire. L'utilisation de sources historiques et de données de terrain, prélevées ou observées, est essentielle pour l'analyse et la restitution de l'histoire d'un lieu. L'apport de nouvelles données permet de compléter la connaissance du lieu et peut remettre en cause les hypothèses existantes. L'utilisation de la technologie HBIM en archéologie permet d'alimenter le débat entre les différents acteurs de la recherche malgré les nombreux défis liés à sa conception.

Dans l'étude de Saint-Martin-de-Londres, l'apport de données topographiques et la création d'un modèle 3D permettent une nouvelle analyse de l'évolution des enceintes. La mise en relation de nouvelles données avec les sources historiques et les travaux antérieurs permettent de fixer les étapes de création de l'enceinte prieurale et alimentent le débat sur l'évolution des enceintes villageoises.

Mots clés : Archéologie, Moyen Âge, relevés d'architecture, géoréférencement, photogrammétrie, lasergrammétrie, restitution 3d.

SUMMARY

Medieval archaeology is a multidisciplinary field of research. The use of historical sources and field data, whether collected or observed, is essential for analyzing and reconstructing a site's history. The addition of new data allows for a more complete understanding of a place and can challenge existing assumptions. The use of HBIM technology in archaeology fosters debate among various research stakeholders despite the numerous challenges related to its development.

In the study of Saint-Martin-de-Londres, the contribution of topographic data and the creation of a 3D model allow for a new analysis of the evolution of the enclosures. The correlation of new data with historical sources and previous works helps to establish the stages of the creation of the priory enclosure and fuels the debate on the evolution of the village enclosures.

Key words : Archeology, Middle Age, Architectural survey, Georeferencing, photogrammetry, lasergrammetry, 3D rendering