

Patrimoine & Innovation

 Wallonie
patrimoine
AWaP



Avec le soutien
du Conseil de l'Europe
et de l'Union européenne

PATRIMOINE & INNOVATION

Table des matières

INTRODUCTION	5
L'INNOVATION AU SERVICE DE LA DÉCOUVERTE DU PATRIMOINE	7
La découverte du patrimoine à l'heure des innovations numériques	9
Raconter l'abbaye de Villers au 21 ^e siècle : entre innovation technologique et conservation patrimoniale	15
Terra Mosana. Les réalités 3D et augmentée à l'Archéoforum	25
L'INNOVATION EN FAVEUR DE LA CONNAISSANCE, DE LA CONSERVATION ET DE LA RESTAURATION DU PATRIMOINE	33
L'innovation au service de la prospection, de l'enregistrement et de la modélisation	35
Les technologies de pointe utilisées en archéologie	35
Un laboratoire à grande échelle : nouvelles méthodes de relevés et d'enregistrement archéologiques sur le chantier du Grognon à Namur	47
Modéliser l'information archéologique à l'ère du Web sémantique	54
Les nouvelles technologies au service des métiers du patrimoine	63
Innovations dans les métiers de la pierre	63
Un patrimoine durable ?	71
Les défis de la durabilité : patrimoine et développement durable. État de la question et prospectives	71
L'INNOVATION À TRAVERS LE TEMPS : LE BÉTON ARMÉ, « LE » MATÉRIAU DU 20^e SIÈCLE	79
Le patrimoine en béton : typologies et exemples en Wallonie	81
Aux origines du béton armé : le Palais de Justice de Verviers, une des premières constructions Hennebique en Belgique	95
Le pont Mativa, de conception Hennebique : historique et description	103
Faire entrer la lumière dans une utopie architecturale, à propos de la verrière et de la voûte de la Cité Miroir	109
L'INNOVATION VUE PAR L'UNESCO	117
L'innovation à l'honneur	119
LES AUTEURS	125

Introduction

Invisiter chacune et chacun, toutes générations confondues, à découvrir le patrimoine wallon, tel est l'objectif des Journées du Patrimoine. Grâce aux propriétaires de biens patrimoniaux et aux organisateurs, l'expert ou le simple curieux a accès à des lieux, connus ou moins connus, parfois mis en valeur sous un angle différent. Cet objectif d'inclusion, de sensibilisation envers un public le plus large possible, est primordial. C'est pourquoi j'ai souhaité le renforcer encore, en enlevant aux participants la contrainte du respect d'un thème, pour faire de ce traditionnel rendez-vous du deuxième week-end de septembre les « Portes ouvertes du Patrimoine ».

Notre patrimoine immobilier est un héritage qui perdurera si nous en prenons soin. Pour ce faire, il est important d'envisager son évolution. Les grands enjeux de notre société tels que le développement durable, les questions énergétiques, la densification des zones urbanisées ou encore l'accessibilité ne peuvent plus être ignorés. Le patrimoine est un écosystème dont les éléments sont interdépendants. Il n'est pas envisageable de le laisser se nécroser si on veut assurer son futur. Mon souhait est, cette année, de remettre en cause les discours pessimistes régulièrement tenus à l'égard de l'avenir des biens patrimoniaux, en démontrant que patrimoine et innovation ne sont pas incompatibles.

Dès lors, la thématique que j'ai choisie pour cette 34^e édition est « Patrimoine & Innovation ». J'espère découvrir avec vous, au travers de visites et de lecture d'articles, comment l'inventivité permet de faire revivre et de valoriser notre patrimoine d'hier, d'aujourd'hui et de demain : outils de réalité augmentée, matériaux innovants, techniques de pointe développées pour apporter des réponses novatrices, qu'il s'agisse d'analyser des sites archéologiques sans les détruire ou de restaurer et reconvertir des monuments... L'évolution des techniques au travers des âges est également mise à l'honneur. Le champ est vaste et enthousiasmant !

Belles découvertes à toutes et tous,

VALÉRIE DE BUE
Ministre du Patrimoine

1

L'INNOVATION

au service de la découverte
du patrimoine



La découverte du patrimoine à l'heure des innovations numériques

Diane DEGREEF et Romain JACQUET

Le patrimoine culturel est un secteur socio-économique essentiel à nos territoires. Ses gestionnaires, professionnels ou amateurs, sont en constante remise en question pour parvenir à le conserver, le faire découvrir à l'Homme du présent et le transmettre à celui de demain. Cela passe inévitablement par le prisme de l'innovation. En effet, cette volonté de remplacer quelque chose d'ancien par du neuf est omniprésente et concerne tous les niveaux des structures patrimoniales, que ce soit la gestion administrative quotidienne, la restauration, la conservation ou la valorisation du patrimoine. Ce dernier domaine est probablement l'un des plus turbulents, ballotté en pleine révolution numérique au gré de l'adoption de nouvelles technologies digitales et des besoins sans cesse évolutifs des publics.

Cette cadence effrénée ne doit cependant pas être perçue comme un chaos général. Elle permet, au contraire, au secteur du patrimoine d'entrer dans le monde excitant de l'expérimental. Les nouvelles technologies numériques apportent leur lot de possibilités inédites : s'il est acquis qu'elles permettent de fidéliser

les publics et d'en toucher de nouveaux qui n'étaient pas ciblés auparavant, employées intelligemment, elles peuvent aussi être des outils innovants pour travailler au corps certaines problématiques jusque-là intouchables. Plutôt que de courir tous azimuts, il est donc indispensable pour une institution patrimoniale se lançant dans un projet digital de prendre du recul et d'analyser sa structure, ses forces, ses faiblesses, son territoire, ses missions, ses besoins, ses publics acquis et *prospects*... Les apports d'une telle démarche sont alors multiples : tout en précisant mieux ses futurs projets, le gestionnaire parfait sa connaissance des spécificités de son institution. À ce stade, il semble judicieux de se poser la question : quelle technologie numérique employer pour répondre à tel enjeu, pourquoi et pour qui ? Recourir au numérique doit, selon nous, se justifier par la plus-value qu'il apporte pour répondre aux objectifs du projet, tout en ayant conscience que l'outil digital doit servir le patrimoine et pas le contraire. Vous l'aurez compris, il est indispensable de se donner les moyens (temps, argent et compétences) pour parvenir à développer une proposition digitale cohérente, le travail vite fait étant souvent synonyme de coup dans l'eau.

L'association Musées et Société en Wallonie, fédération des musées wallons ayant pour mission la professionnalisation des musées du patrimoine, s'est donné pour objectif d'accompagner ses membres dans le domaine de l'innovation digitale. Dans ce contexte à deux vitesses, où certaines technologies numériques sont déjà bien implantées alors que d'autres n'en sont qu'à leurs balbutiements, le projet *Behind The Museum* a été lancé fin 2020 pour faire découvrir aux musées de nouvelles possibilités digitales au sein d'un projet commun et fédérateur, mutualisant ainsi toute une série de frais et de compétences.

Behind The Museum, l'inaccessible à portée de main

Behind The Museum est une plateforme Web gratuite (www.behindthemuseum.be) qui permet au grand public d'explorer les coulisses des musées wallons, joyaux de

notre patrimoine. Grâce à ses visites virtuelles d'espaces inaccessibles, le public peut désormais déambuler dans des lieux qui lui sont habituellement interdits, tels que des ateliers de restauration, des réserves de collections, des expositions temporaires terminées ou même des musées fermés au public. Ces parcours sont parsemés de contenus inédits, sous forme de vidéos, de textes et de photos, afin de permettre au visiteur de compléter habilement sa visite réelle des musées et de comprendre leur fonctionnement et leur gestion.

De nombreuses interviews sont aussi proposées afin de découvrir les métiers des musées, des plus connus, comme les postes de conservateur, de directeur ou de responsable pédagogique, à ceux de l'ombre, comme le restaurateur ou le personnel d'accueil et d'entretien. Comment conserve-t-on des œuvres ? Comment est réalisée une exposition ? Comment intégrer des bénévoles à son équipe ? Comment adapter un musée aux publics à besoins spécifiques ? Toutes ces questions peuvent

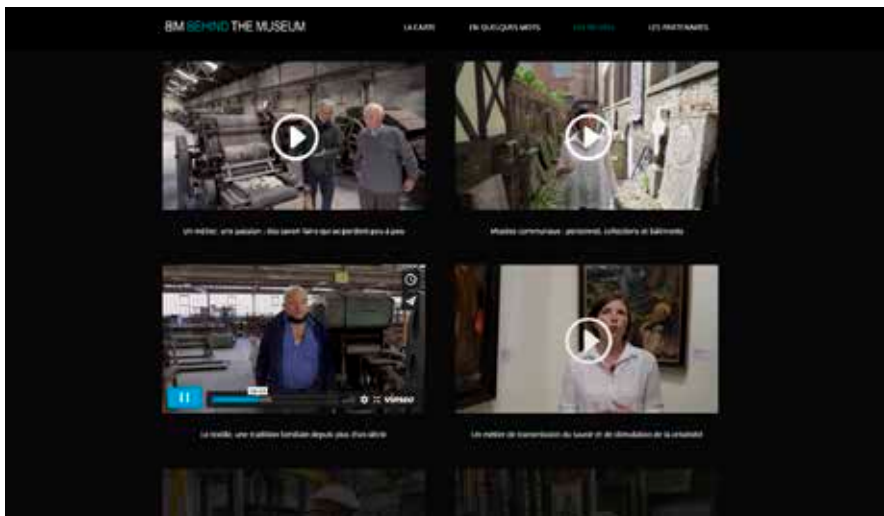


Fig. 1

Interviews du personnel et des bénévoles de la réserve du Solvent, Verviers © MSW

trouver réponse grâce à *Behind The Museum*. Ces interviews ont aussi pour ambition de partager la passion, l'énergie et l'humanité du personnel muséal gestionnaire du patrimoine. Comme beaucoup d'autres secteurs, celui des musées a beaucoup souffert de la pandémie et *Behind The Museum* veut valoriser leur travail et les nouvelles problématiques qu'elle a engendrées.

La plateforme propose enfin une série de photos de collections afin de valoriser le patrimoine wallon le moins connu du grand public. En effet, certaines études estiment que 80 à 90 % des collections d'un musée restent en réserve et seuls les 10 à 20 % restants vous sont dévoilés, de nombreuses pièces demeurant totalement inconnues. *Behind The Museum* propose donc de donner un coup de projecteur sur ces aspects moins valorisés/valorisables de nos institutions patrimoniales.

En mars 2022, vingt-trois musées wallons sont déjà accessibles en quelques clics, dont de nombreux établissements abrités dans des bâtiments patrimoniaux classés ou hébergeant des collections archéologiques. Chacun d'entre eux est régi par des problématiques qui lui sont propres et la numérisation en trois dimensions peut parfois y répondre de manière innovante. Des sites classés, comme la Maison du Patrimoine médiéval mosan, les minières de Spiennes,



Fig. 2

Carte à échantillon, réserves du Solvent, Verviers © MSW

le musée de la Poterie ou la tour d'Anhaive, éprouvent des difficultés à rendre certains de leurs espaces accessibles aux personnes à mobilité réduite (notamment à cause des escaliers). La visite virtuelle de ceux-ci, dans un espace dédié ou sur Internet, peut répondre à cet enjeu. D'autres sites patrimoniaux ne bénéficient que de peu de jours d'ouverture au grand public pour diverses raisons et peuvent désormais être accessibles à tout moment. À titre d'exemples, la brasserie à vapeur de Pipaix n'est visitable que chaque dernier samedi du mois, le Solvent de Verviers lors des Journées du Patrimoine ou sur rendez-vous tandis que le musée des Beaux-Arts de Tournai fermera ses portes pour deux ans et demi dès 2023. D'autres parcours virtuels proposent de découvrir des lieux encore moins connus : l'abbatiale de l'abbaye d'Orval n'est ouverte aux visiteurs qu'à certaines occasions afin de ne pas déranger les offices, de même que la Société archéologique de Namur qui, logiquement, veille à préserver le confort des chercheurs qui s'y rendent.

La numérisation en trois dimensions permet aussi de relier des lieux situés à distance et de rapprocher leurs contenus. Ainsi, la forteresse de Poilvache (Yvoir) et le château de Crèvecœur (Dinant), situés à plusieurs kilomètres l'un de l'autre et séparés par la Meuse, sont accessibles dans le parcours virtuel de la Maison du Patrimoine médiéval mosan. De même, la visite du musée de la Fraise comprend des portes vers plusieurs champs de fraises typiques de Wépion ainsi que des interviews inédites des personnes qui y travaillent. Rassembler une exposition qui se tient dans plusieurs établissements est désormais aussi envisageable. Citons *Plis. Art & Textile* qui s'est tenue au TAMAT et au musée des Beaux-Arts de Tournai ou encore *Donnons un avenir à notre passé - 175 ans de la Société archéologique de Namur*, aux Archives de l'État à Namur, et qui peut maintenant être parcourue depuis les bâtiments de la Société archéologique.



Fig. 3
Parcours virtuel de l'église abbatiale d'Orval © MSW

Il est également possible de rendre accessibles des espaces habituellement interdits au public, notamment des réserves, des ateliers de conservation, des bureaux, qui sont alors expliqués en détail par des professionnels. Les visites désormais possibles des Fonds patrimoniaux de la Ville de Liège ou du décor du Panorama classé de la bataille de Waterloo illustrent parfaitement ce propos.

Enfin, le visiteur a également la possibilité de découvrir des expositions temporaires définitivement terminées. L'exposition exceptionnelle *Parures de fêtes à Liège. Splendeurs des tapisseries de Saumur*, qui s'est tenue au Trésor de la Cathédrale de Liège et à l'Archéoforum jusqu'au 6 mars 2022, sera notamment une des exclusivités du début de l'année. Citons aussi l'exposition *Happy Heads*, au musée international du Carnaval et du Masque, la première visite virtuelle de *Behind The Museum*, l'incroyable *Bye Bye Future ! L'art de voyager*

dans le temps qui a fait rêver de nombreux visiteurs au musée royal de Mariemont ou encore *Napoléon : de Waterloo à Sainte-Hélène, la naissance de la légende* qui a rassemblé en Wallonie de nombreux objets ayant appartenu au premier empereur des Français lors de son exil sur la célèbre île.

Vous l'avez compris, *Behind The Museum* est l'occasion de présenter à nos institutions patrimoniales les nombreuses portes que peut ouvrir le numérique. Par exemple, une visite virtuelle stockée dans un format pérenne est une chance de transmettre aux générations futures une sauvegarde numérique d'un espace à un instant T. En outre, la même visite dans une autre langue joue un rôle de vitrine à l'étranger, essentiel pour attirer de nouveaux publics. Ces outils numériques ne remplacent certes pas la visite « physique » mais apportent des solutions supplémentaires à des problématiques parfois difficilement solubles.

Volonté d'aller plus loin dans la démarche

Pour Musées et Société en Wallonie, le projet *Behind The Museum* est une étape dans sa réflexion sur la digitalisation des musées wallons. Celui-ci permet en effet de poser des questions clés et de dresser plusieurs constats sur base desquels l'association se penchera afin d'améliorer l'expérience du visiteur et la transmission de contenus pédagogiques : comment proposer une solution digitale plus collective, alors que les visites virtuelles actuelles sont à caractère presque exclusivement individuel ? Comment lier virtuel, guidage en direct et interaction ? Quels modèles de gestion appliquer pour ce type d'offres culturelles et comment les créer s'ils n'existent pas ? Toutes ces questions soulevées par le projet sont autant de challenges que nous allons tenter de relever.

Ces différentes réflexions nous amènent à rentrer en contact avec des fournisseurs spécialisés dans le domaine, travaillant déjà, ou non, pour le secteur du patrimoine culturel. De plus en plus de *clusters* d'innovation et de croissance voient le jour, regroupant tant des sociétés privées que des associations culturelles ou des institutions publiques, afin de discuter de différentes possibilités de partenariat. Ces regroupements permettent de rapprocher les acteurs en question, amenant régulièrement des groupes de travail à se former pour avancer sur des projets spécifiques. Suivant cette logique, Musées et Société en Wallonie, l'ICOM Belgique Wallonie-Bruxelles, l'ICOM Belgium Flanders, l'ICOM CECA et Brussels Museums se sont réunis dans le cadre d'ICOM Solidarity project 2021 pour piloter le projet *Virtual Museum Mediation: a Necessary Adoption of Methods*.

Virtual Museum Mediation, la suite logique

Au cours des confinements dus à la crise sanitaire, les institutions muséales et patrimoniales, forcées de fermer

leurs portes aux visiteurs, ont immédiatement cherché à rester en contact avec les publics au moyen de solutions virtuelles jusqu'alors très peu utilisées. Certains publics, réceptifs à ces propositions alternatives, ont alors adapté leurs pratiques culturelles, y accordant une place nouvelle aux offres pédagogiques virtuelles. Par ailleurs, une vraie prise de conscience s'est opérée au sein des professionnels du secteur au sujet des possibilités du digital. Certains d'entre eux étaient jusque-là parfois réticents à l'idée de virtualiser un site ou une collection, par crainte que le virtuel ne remplace le réel ou, au contraire, parce qu'ils ne voyaient pas l'intérêt de présenter en ligne une pâle copie de la réalité. Bien entendu, le numérique pour le numérique, ou l'immersif pour l'immersif, n'a pas de sens. La virtualisation, ainsi que l'immersion dans un univers, doivent apporter une vraie plus-value lors de la découverte d'un site par le visiteur. Comme évoqué précédemment, la technologie doit être abordée comme un outil au service de la médiation et du patrimoine qu'il valorise et non une finalité en soi. D'où l'importance cruciale d'une médiation sagement réfléchie et construite.

La médiation patrimoniale est l'action de créer du lien entre public et patrimoine, en valorisant et en facilitant la compréhension de ce dernier. Les nouvelles technologies offrent des possibilités originales pour permettre aux visiteurs d'appréhender des sites ou des collections de façon innovante, inédite.

Le projet intitulé *Virtual Museum Mediation: a Necessary Adaptation of Methods* (ICOM Belgium, ICOM CECA, Musées et Société en Wallonie, Brussels Museums et FARO) consiste justement à mettre des outils à disposition des opérateurs muséaux et des médiateurs pour les aider dans la réalisation et la promotion de visites virtuelles interactives de qualité.

Partant du constat qu'une visite « classique » ne peut se transposer telle quelle dans une version en ligne, ce projet définit les bonnes et moins bonnes pratiques ainsi

que les spécificités à prendre en compte pour différents types de publics « empêchés », pour lesquels ces visites sont une réelle opportunité. En effet, les offres en ligne répondent à la problématique générale pour certaines catégories de la population d'accéder au patrimoine : publics à besoins spécifiques (PMR, personnes en situation de handicap...), personnes privées de liberté, établissements scolaires éloignés de structures muséales ou avec peu de ressources, personnes âgées en résidence... En ce sens, les musées et sites patrimoniaux peuvent réaffirmer leur engagement culturel pour toutes et tous, sans barrière ni discrimination.

Cependant, qu'il s'agisse d'un public empêché ou non, la technologie reste malgré tout une étape supplémentaire dans la découverte du site. Il ne faut pas perdre de vue qu'elle doit avant tout en faciliter la compréhension. Cette étape supplémentaire se doit donc d'être fluide, agréable, intuitive et ne doit pas être perçue comme un obstacle ou une contrainte. Le visiteur étant déjà constamment entouré de technologies dans son quotidien, l'enjeu pour une institution patrimoniale est de parvenir à le surprendre. Pour atteindre cet objectif, plusieurs possibilités sont envisageables : offrir aux visiteurs une utilisation nouvelle voire détournée d'une technologie connue, leur permettre de vivre une rencontre humaine et collective au travers du digital, les amener à vivre une expérience unique, personnalisée...

Au terme de la phase pilote du projet, une des observations majeures est la place centrale qu'occupe la relation humaine au sein des solutions digitales les plus appréciées. Il y a donc dans l'utilisation des technologies le désir de conserver un caractère humain dans l'expérience vécue. Il ne s'agit pas uniquement de dématérialiser les choses. Une immersion virtuelle s'avère plus pertinente et réussie si elle parvient à faire appel aux émotions et au sensoriel. L'être humain est un être sensible et social, l'interaction et le partage

d'une expérience ou d'un ressenti occupent une place prépondérante dans sa découverte du monde et de la culture. La technologie qui rassemble et permet une expérience partagée, dans un monde parfois devenu trop individualisé, est souvent particulièrement appréciée.

Pour conclure, la technologie et les outils digitaux offrent de nouvelles opportunités très variées en matière de découverte, d'accessibilité, d'archivage, de mise en relation, de rayonnement international... Parmi ces possibilités, il est essentiel de concevoir l'innovation comme le fruit d'une réflexion. Le choix d'un type de technologie doit être mûrement réfléchi en fonction d'un public cible et d'objectifs précis. Enfin, nous soulignons l'importance du caractère humain au sein de chaque projet innovant, car au-delà du digital, il importe de réserver une place de choix à la médiation et à la rencontre.

Raconter l'abbaye de Villers au 21^e siècle : entre innovation technologique et conservation patrimoniale

Michel Dubuisson

Pour tout gestionnaire d'un site touristique d'une certaine renommée comme l'abbaye de Villers, l'enjeu est moins de faire venir le visiteur que de l'y faire revenir. À cet égard, la réactualisation des outils de découverte est un défi permanent, tout comme le renouvellement saisonnier des jardins ou des animations dans le site. Dans le cadre du présent article, nous nous attarderons quelque peu sur le premier aspect.

Des moines ingénieux

On sait que les cisterciens, sans avoir été de grands inventeurs, ont fait preuve d'ingéniosité dans la mise en œuvre des techniques de pointe de leur époque et qu'ils ont été de bons propagateurs du meilleur savoir-faire, notamment grâce à la culture du réseau qui était la leur (chapitre général des abbés à Cîteaux, visites canoniques aux abbayes-filles...).



Fig. 1

Point de vue, abbaye de Villers-la-Ville. G. Focant © SPW-AWaP

Les premiers aménagements hydrauliques de Villers ont ainsi été « expertisés » au milieu du 12^e siècle par un religieux de l'abbaye de Vaucelles, qui a travaillé également à Aulne et à Cambron (Foulques, 2016 : 38). Le système hydraulique ingénieux qu'on voit encore à Villers est, du reste, régulièrement cité en exemple dans la littérature scientifique (BOULEZ *et al.*, 2004). La maîtrise de l'énergie hydraulique par les cisterciens fut telle que nombre de leurs industries survécurent à la disparition de leurs abbayes. À Villers, le moulin servant à moudre le grain et écraser l'huile a fonctionné pendant soixante ans après le départ des moines et la nouvelle roue à aubes qui y a été installée en 2015 pour produire de l'électricité verte s'appuie sur le bief et la chute aménagés par eux voici huit siècles.

On pourrait citer aussi l'exemple de l'installation à l'abbaye, vers 1268, d'une clepsydre dont le réglage était visiblement complexe (Sheridan, 1895 et Stirling, 1996), ou encore évoquer le fait que la grande abbaye gothique fraîchement construite accueillait, à la même époque, des formations pour les apprentis maçons (Dubuisson, 2006 : 115-117), lointaines ancêtres des stages en maçonnerie pour cordistes qui s'y déroulent aujourd'hui en collaboration avec le FOREM/Agence Fonds social européen.

Durant 650 ans d'occupation, l'abbaye de Villers rayonna au sein de l'ordre, et particulièrement dans les Pays-Bas méridionaux. Sa suppression soudaine et définitive en 1796, suivie du morcellement du site et du démantèlement rapide de ses bâtiments, dut fortement impressionner les contemporains.

Les ruines pittoresques de l'abbaye ont attiré de premiers touristes dès les années 1820-1830, comme en témoignent les premiers articles consacrés aux lieux. Cet engouement s'accrut à partir de 1855 avec l'inauguration de la ligne de chemin de fer qui passe au beau milieu des ruines (de Bueger-Van Lierde, 2002).

Victor Hugo disait d'ailleurs de Villers que c'était « du Moyen Âge que tout le monde a sous la main » (*Les Misérables*, chapitre 2, livre VII, deuxième partie, *Cosette*). En réponse aux dernières dégradations intervenues dans le site quelques années auparavant, l'État belge expropria les lieux en 1892 et y entama un important chantier de consolidation. Interrompues par la Première Guerre mondiale, les rénovations reprirent de façon plus ponctuelle dans les années 1930 (Coomans, 1990). Il fallut attendre 1984 pour voir une nouvelle campagne de restauration des ruines par la Régie des Bâtiments. Ce chantier se poursuivit jusqu'au début des années 2000.

Vers une scénographie moderne

Le site n'a cessé depuis deux siècles d'attirer des publics bien différents en quête d'idéaux eux aussi très divers (Coomans, 2005), et les moyens mis en œuvre pour faire connaître ce patrimoine ont évolué au fil du temps et des médias successifs.

Le premier guide du visiteur *stricto sensu* paraît en 1850. De tels livres foisonnent à partir de l'arrivée du chemin de fer. La campagne de consolidation des ruines à la fin du 19^e siècle traîne dans son sillage l'édition de nouveaux guides. À l'occasion de l'Exposition universelle de Paris en 1900, l'architecte Charles Licot réalise une maquette de l'abbaye dont subsistent encore quelques éléments (Coomans, 1994). Pendant un demi-siècle, de 1932 à 1982, le site est géré par le Touring Club de Belgique. Des panneaux peints identifiant les bâtiments anciens commencent à fleurir dans le site. L'abbaye est classée comme monument en 1972.

Après les temps héroïques des animations proposées par le Syndicat d'Initiative et des associations comme Honor Brabantiae Villarium ou Nature et Loisirs, après les efforts individuels de valorisation des gardiens et jardiniers de l'État, la gestion du site est finalement

dévolue en 1992 à une association, l'Association pour la promotion touristique et culturelle de l'abbaye de Villers, devenue en 2005 asbl Abbaye de Villers-la-Ville. Celle-ci investit dans un petit bâtiment d'accueil, produit des panneaux en plaques émaillées, une maquette et des mallettes pédagogiques, édite des plans guides, coordonne des visites guidées et animées. Un premier audio-guidage est lancé en 2006. Une bande dessinée, comprenant quarante reconstitutions de l'abbaye réalisées par le dessinateur Yves Plateau, sort de presse aux éditions Casterman en 2010 (DUBUISSON *et al.*, 2010).

Néanmoins, la notoriété de l'abbaye de Villers, considérée comme l'un des ensembles cisterciens les plus complets d'Europe (fût-ce à l'état de ruines), contraste pendant deux siècles avec l'absence d'un centre d'interprétation digne de ce nom. Un musée est en projet au début du 20^e siècle, comme en témoigne un plan de l'époque (Boulmont, 1902 : 49) mais il ne voit pas le jour. Après des premiers projets portés par les sociétés Itinérance et Projenor, il faut finalement attendre le 14 juin 2016, pour que soit inauguré un centre du visiteur dans l'ancien moulin abbatial. Porté par l'Institut du Patrimoine wallon dans le cadre d'un cofinancement de l'Union européenne et de la Région wallonne (programme FEDER), ce schéma de développement est concrétisé par un consortium constitué des bureaux Binario, Du Paysage et L'Escaut, en étroite collaboration pour la scénographie avec l'asbl Abbaye de Villers-la-Ville et la société Tempora (Centre, 2015).

Un premier espace de visite situé dans une sorte de « nid perché » dans les combles du moulin présente le monde des abbayes cisterciennes, tandis qu'une deuxième salle s'articule autour d'une grande maquette en schiste représentant l'abbaye à son apogée à la fin du 13^e siècle. Outre l'aménagement d'un centre du visiteur, le schéma de développement réunit le site morcelé depuis la Révolution. L'audace architecturale qui a permis cette intégration sans nécessiter de contournement

routier a été l'installation de deux passerelles en acier Corten et bois reliant les trois lots séparés à la Révolution : moulin, colline, ferme et bâtiments monastiques. Ce faisant, le domaine proposé aux touristes a été doublé, et son itinéraire de découverte est désormais plus logique : passant par un point de vue sur l'ensemble du parc archéologique, le visiteur pénètre dans celui-ci à proximité de l'antique porterie de l'abbaye. Une longue ligne du temps en acier Corten l'accompagne tout au long de la colline jusqu'à son entrée dans les ruines proprement dites. Des panneaux didactiques en plaques émaillées ou en aluminium composite (Dibond) respectant une même charte graphique émaillent le parcours du visiteur dans l'ensemble du site.

Bouleversé par un accident routier survenu au niveau des arcades de la pharmacie en 2014, le chantier a dû intégrer la future reconstitution de celles-ci, inaugurées finalement en 2021 après un minutieux travail de réincorporation d'un maximum d'éléments originaux (atelier ARC Architecture et Patrimoine sprl).

Un défi permanent

Soutenue régulièrement par le Commissariat général au Tourisme, la modernisation des outils de visite est d'autant plus ardue que les technologies évoluent de façon exponentielle et que chaque nouvelle médiation peut apparaître de plus en plus vite surannée.

L'audioguide qui arrive en fin de vie, après quinze ans de bons et loyaux services, a témoigné d'une remarquable longévité, au prix certes d'une maintenance régulière. Lancées en 2017, les « ardoises » (tablettes tactiles) qui accompagnent le visiteur individuel ou les familles à la découverte de l'abbaye montrent toute leur utilité dans le cadre d'un site en ruines, notamment grâce à leurs reconstitutions, et ce, sans être intrusives vis-à-vis des autres promeneurs. Mais leurs batteries s'usent et



Fig. 2

L'« ardoise » tactile © asbl Abbaye de Villers-la-Ville

peinent parfois à résister à une visite prolongée. Par ailleurs, leur contenu est immuable, ce qui en fait généralement un outil à usage unique. Cette absence de souplesse dans le renouvellement des contenus se constate aussi dans les trois ordinateurs à écrans tactiles qui accueillent le visiteur dans la première salle du parcours.

Ces outils numériques cèdent ainsi progressivement le pas à une double déclinaison sur smartphone. Une plateforme des médiations souple et dynamique a été initiée en 2021. Elle permet la mise à jour facile de ses contenus, en reprenant pour partie ceux des anciens médias comme les audioguides et les ardoises, et leur enrichissement progressif avec l'insertion de vlogs ou de podcasts, sans être corsetée par une table des matières rigide. À partir de cette année, une déclinaison exhaustive du contenu des ardoises – dont les spectaculaires reconstitutions en réalité augmentée – sera également proposée dans une application pour mobiles. Dans la mise en place de ce genre de médiations, un enseigne-

ment est à retenir : la technologie évoluant tellement vite, le choix de l'outil doit être dicté par son adaptabilité à moyen terme.

Les animations conçues par des sociétés événementielles participent aussi à la diffusion auprès d'un large public de l'histoire de l'abbaye. La première édition de *Vallée secrète* en 2021 conçue par John Mac Murphy sprl a attiré des milliers de personnes. Ce parcours spectacle nocturne dans les ruines mêle artistes et vidéo-mapping. C'est un lointain descendant des illuminations par des grands feux organisées dès le milieu du 19^e siècle, dont témoignent plusieurs contemporains comme Victor Hugo. Un partenariat avec l'abbaye de Clairvaux dans le cadre d'un projet porté par le GAL du Pays des 4 Bras (financement du FEADER) a permis à saint Bernard de revenir quelques jours à l'abbaye en avril 2022 sous la forme d'un personnage en 2D pour narrer la création de l'ordre cistercien, de son abbaye champenoise et de sa fille brabançonne.



Fig. 3

Préparatifs d'une illumination des ruines de l'église (1834).
D'après H. Borremans, 1834 © asbl Abbaye de Villers-la-Ville

Toutes les mises en valeur qui ont été faites depuis vingt ans sous quelque forme que ce soit ont été rendues possibles parce qu'elles reposaient sur un socle scientifique solide. On ne soulignera jamais assez l'atout immense qu'a été la publication en 2000 de la thèse doctorale en histoire de l'art et archéologie du professeur Thomas Coomans consacrée à l'abbaye de Villers (Coomans, 2000). Elle a permis de décliner toutes les évocations imprimées ou numériques qui ont été faites depuis et sont omniprésentes dans le parcours de découverte du site. Elle a aussi stimulé de nouvelles fouilles archéologiques (synthétisées par DE WAELE *et al.*, 2016) et de nouvelles études historiques menées depuis vingt ans (Henrion, 2002 et 2004 ; Kockerols, 2010 ; Delaissé, 2018 ; Dubuisson et Nieuws, 2019...). Ce n'est pas une coïncidence si la thèse de Th. Coomans est née

à une époque où la Régie investissait dans la consolidation des ruines, tout comme les études d'Édouard Moreau (1909) puis de Théophile Ploegaerts et Gustave Boulmont (1914-26) menées au début du 20^e siècle suivirent la campagne de restauration du site par l'État belge.

L'intérêt de l'investissement dans la recherche scientifique est d'autant plus difficile à conscientiser que ses résultats ne sont pas toujours immédiats, même dans le cas de la recherche appliquée. Une frustration à titre d'illustration concrète : de janvier à mars 2014 eut lieu une fouille de sauvetage dans le cadre du chantier d'aménagement du nouveau sentier de la colline conduisant du centre du visiteur aux vestiges de l'abbaye. La cave d'un bâtiment fut mise au jour à cette occasion. En l'absence d'élément particulier qui aurait permis de l'identifier et de la démarquer dans le circuit, il fut logiquement décidé d'en faire le relevé puis de la reboucher dans les règles de l'art et de la recouvrir par le nouveau sentier et sa ligne du temps. En novembre 2015 fut présentée une analyse radiocarbone qui datait, avec une probabilité de 68,2 %, la construction de ce bâtiment à la période 1155-1220 (DE WAELE *et al.*, 2015 : 92). Il s'agissait donc vraisemblablement des soubassements d'un bâtiment du 12^e siècle, vestige rarissime de l'abbaye (Villers II) antérieure à celle dont le public arpente les ruines



Fig. 4

La ligne du temps de l'abbaye. G. Focant © SPW-AWaP

(Villers III, 13^e siècle). L'exposition commentée de ce vestige *in situ* aurait évidemment trouvé tout son sens dans la logique du circuit.

Consciente de l'intérêt de la recherche pour renouveler les thématiques de visite et de valorisation, l'association gestionnaire contribue à la numérisation des archives de l'abbaye conservées aux Archives de l'Archevêché de Malines (environ 20 000 pages : Henrivaux, 1996), à la collecte des sources iconographiques – notamment des plans de l'architecte Ch. Licot et de son successeur Léopold Pepermans – et, plus globalement, à l'enrichissement permanent de son centre de documentation, dont le catalogue a été récemment mis en ligne. Nombre de nouvelles découvertes archivistiques trouvent, avec le temps, une déclinaison didactique ou touristique au gré des nouveaux supports de vulgarisation, comme les récits de frère Michel, une poupée qui narre aux enfants les *exempla* (petits récits édifiants) des moines qui ont vécu à l'abbaye, ou encore la production d'une nouvelle reconstitution de l'environnement de l'abbaye sur la base de la cartographie ancienne et d'une analyse paysagère des environs de l'abbaye par des géographes. La mémoire orale (Brocal-Evrard, 2009-16) confrontée au témoignage d'archives est aussi riche en enseignements sur l'histoire des ruines et la valorisation du moulin aujourd'hui. L'analyse des archives de la brasserie du 18^e siècle a même permis la fabrication dans la nouvelle microbrasserie de l'abbaye d'une bière évoquant celle des moines (Dubuisson, 2017). L'analogie avec la recherche-développement dans le secteur privé n'est pas dénuée de sens ici.

On ne pourrait esquisser les défis touristiques quotidiens du site sans au moins évoquer la question environnementale. *Plus in silvis quam in libris*, écrivait saint Bernard : on apprend plus dans les bois que dans les livres. Le cadre naturel isolé était un élément identitaire chez les cisterciens, au point qu'ils l'ont

souvent mythifié. Malgré les cicatrices de la route et du chemin de fer qui transpercent l'abbaye, Villers a la chance de bénéficier d'un environnement encore relativement bien préservé dans ses abords, notamment grâce au classement de la vallée de la Thyle comme site Natura 2000. Une enquête menée en 2018-20 auprès de 1 100 visiteurs a montré que la nature et les jardins venaient directement après le patrimoine comme facteur d'attractivité à l'abbaye, avant la participation à tel ou tel événement. Sous la direction de Patrick Fautré de 2014 à 2020, quatre nouveaux jardins se sont ajoutés aux jardins de l'abbé et au jardin d'inspiration médiévale déjà existants. Un regret à cet égard : l'obligation récente du démantèlement d'un logo floral planté en 2018 sur la colline de la ferme, qui se voulait une évocation de la floraison des jardins et une invitation à leur découverte.

Enfin, il y a aussi la question de l'événementiel et de son corollaire, l'accentuation de la notoriété. Le développement des animations à partir des années 1980 et des premières représentations théâtrales annuelles par Del Diffusion a été exponentiel depuis le début des années 1990, sous les présidences (Valmy Féaux, Alain Lejeune, Philippe Rémy, Marie-José Laloy et aujourd'hui Éric Balza) et les directions successives (Albert Baiwir, Jacques Comez, Patrick Fautré et, depuis 2020, Cédric Delcour). Ces dernières ont présenté de plus en plus un profil de diplômés en gestion. Les confréries locales (Vignoble de Villers-la-Vigne, Hostieux Moines) ont également participé au rayonnement de l'abbaye. « *For heritage to be maintained and survive, its only hope is to generate money, attract tourists and provide jobs. A site such as Villers is considered as a business and must be marketed as a product that delivers what people are looking for* (COOMANS, 2005 : 56) ». Il est évident que sans les efforts quotidiens de promotion menés depuis trente ans, on n'aurait même jamais parlé de schéma de développement.

Bilan et perspectives

Six ans après l'inauguration du centre du visiteur et du nouveau circuit de visite, on peut jeter un regard croisé sur les statistiques de fréquentation (visiteurs *stricto sensu* et spectateurs venus à l'abbaye lors d'une de ses nombreuses manifestations).

Les courbes de croissance des deux publics ont été généralement parallèles... jusqu'à l'apparition de la pandémie. La situation sanitaire exceptionnelle à partir de mars 2020 a imposé d'adapter l'offre de visites et d'animations : fermeture provisoire du site, puis condamnation de tous les espaces fermés, aménagement permanent du circuit de visite dans le respect des distanciations sociales, conception d'une programmation culturelle alternative avec notamment l'organisation de concerts à jauge réduite ou la création d'une exposition de sculptures en plein air de l'artiste Folon. Cette réactivité a permis à l'abbaye de monter à des chiffres

de fréquentation de visiteurs jamais atteints par le passé, lesquels ont atténué le déficit de spectateurs subi du fait du ralentissement ou de l'arrêt des festivités qui égayaient le site traditionnellement.

La crise sanitaire a aussi permis paradoxalement – et par la force des choses – d'imaginer des solutions structurelles à des problématiques qui se posaient de longue date dans la gestion touristique du site, comme la coexistence entre les visiteurs et les spectateurs (choix d'expositions qui s'intègrent harmonieusement dans le site, confinement des espaces privatifs et/ou organisation des événements en dehors des heures de visite), la limitation du facteur météorologique dans le succès d'un événement (généralisation de la prévente en ligne) ou encore le rapport risque-bénéfice dans la préparation budgétaire de l'événementiel (conception d'événements qui puissent être proposés sans supplément de prix à l'entrée habituelle). En ce sens, et en dépit de sa nature dramatique, la pandémie,

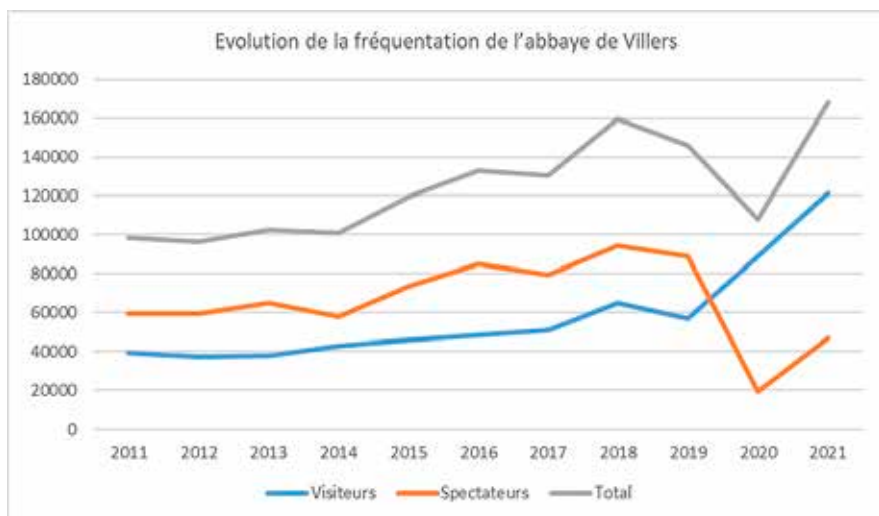


Fig. 5

Statistiques de fréquentation © asbl Abbaye de Villers-la-Ville



Fig. 6

La maquette de l'abbaye dans le centre du visiteur. G. Focant © SPW-AWaP

comme toute crise grave, a laissé apparaître certaines opportunités dans le développement futur du site.

Elle a aussi montré que, malgré tous les outils scénographiques possibles et imaginables, la valeur sûre reste le site en ruines. Tout comme la courbe de croissance des visiteurs avait commencé à frémir dès avant l'inauguration du schéma de développement en 2016, la conjonction de la fermeture de toutes les zones intérieures du centre du visiteur, de l'interdiction d'usage de l'ardoise tactile et autres *touchscreens* et de l'annulation de toutes les visites de groupe pendant la pandémie n'a pas empêché l'abbaye d'atteindre des chiffres de fréquentation inédits et qui resteront probablement longtemps inégalés.

Nous lisons ces enseignements avec humilité. Le maître mot de tout aménagement immobilier, toute scénographie et toute médiation ne peut être que la sobriété, particulièrement dans le cas d'un ancien site cistercien. Les aménagements de 2016 sont dépouillés, les matériaux contemporains sont limités à l'acier Corten, au béton

pour le sol et au chêne pour les plafonds, cloisons et meubles de la boutique. Des *claustra* ferment discrètement les fenêtres de l'espace de circulation du centre du visiteur. Dans la scénographie, le support « matériel » reste une valeur sûre, comme en témoigne la popularité de la grande maquette en schiste représentant l'abbaye à son apogée vers 1300.

Gageons que les développements actuels et futurs du site – que ce soient les projets de l'AWaP sur l'affectation de l'ancienne ferme domestique de l'abbaye et sur les abords du moulin (parking, terrasse...), la sécurisation de la route qui traverse le site, la croissance de l'horeca dont l'asbl a repris la gestion en 2020, le musée lapidaire appelé de ses vœux dès la fin du 19^e siècle, les nécessaires aménagements hydrauliques dictés par les sécheresses et les inondations à répétition ou encore la mise en valeur de l'hôtellerie-brasserie dont une étude récente menée par MKG Consulting a souligné le potentiel d'exploitation – continuent à être une sobre mise en valeur de lieux qu'il faut d'abord laisser parler eux-mêmes.

La vigilance à cet égard est d'autant plus importante à Villers vu l'absence d'unicité de propriété du site. La tentation est grande et naturelle pour un auteur de projet de maximiser les aménagements sur le « terrain de jeu » dont il dispose, ce dernier n'étant pourtant jamais qu'une des pièces d'un immense puzzle de 30 ha partagé entre l'État belge, la Région wallonne, une société anonyme de droit public (Infrabel) et même une parcelle privée.

Bibliographie

BORREMAN H., 1834. *Ruines de Villers*. Bruxelles, Imp. Lith. de P. Simonau.

BOULEZ V., DE FAYS, R., DOYEN, B. et DUBUISSON, M., 2004. *Les chemins de l'eau. Les réseaux hydrauliques des abbayes cisterciennes du nord de la France et de Wallonie*. Namur, Institut du Patrimoine wallon (Dossiers de l'IPW, 1).

BOULMONT G., 1902. *Vade-mecum du touriste aux ruines de l'abbaye de Villers et supplément illustré de la «Description des ruines» du même auteur*. Bruxelles, Imp. Vve Lambert (rééd. 1928 et 3^e éd., Gand, I. Vanderpoorten, s.d.).

BROCAL-ÉVRARD R., 2009-2016. *Là où je suis née*, t. 1-3. Domont, Au fil du temps.

COOMANS T., 1990. *L'abbaye de Villers. Histoire des ruines (1796-1984). Les interventions du Ministère des travaux publics en vue de leur sauvegarde*. Louvain-la-Neuve, Institut supérieur d'archéologie et d'histoire de l'art (Publications d'histoire de l'art et d'archéologie de l'UCL, 72).

COOMANS T., 1994. La maquette en plâtre de l'abbaye de Villers, conservée aux Musées : reconstitution archéologique par Charles Licot (1896-1900). *Bulletin des Musées royaux d'art et d'histoire*, LXV : 05-326.

C'est au final un rappel à la modestie : quoi qu'on fasse comme aménagement en termes d'innovation au service de la découverte du patrimoine, si la valeur sûre reste le site, le premier enjeu doit être sa maintenance et sa conservation.

COOMANS T., 2000. *L'abbaye de Villers-en-Brabant. Construction, configuration et signification d'une abbaye cistercienne gothique*. Bruxelles, Racine (Cîteaux, commentarii cistercienses - Studia et documenta, XI).

COOMANS T., 2005. From Romanticism to New Age: the Evolving Perception of a Church Ruin. *Téoros*, 24-2 : 47-57.

DE BUEGER-VAN LIERDE F., 2002. La traversée du site de l'abbaye de Villers par la voie de chemin de fer. (I) Étude de la ligne de Charleroi à Louvain, (II) Tracé, réactions et conséquences. *Villers*, n°21, 1^{er} trim. 2002 : 4-14 ; n°22, 2^e trim. 2002 : 12-29

DELAISSE É., 2018. *Le monde cistercien danois du XI^e au début du XIV^e siècle à la lumière des sources narratives*. Paris, Cerf.

DE MOREAU É., 1909. *L'abbaye de Villers en Brabant aux XI^e et XII^e s. Étude d'histoire religieuse et économique, suivie d'une notice archéologique par le chanoine R. Maere*. Bruxelles, A. Dewit, 1909, LXXI (Université de Louvain. Recueil de travaux publiés par les membres des conférences d'histoire et de philologie, 21).

DE WAELE É., HELLER F., VAN HOVE M.-L. et WILLEMS D. (2016). *L'abbaye de Villers-la-Ville. Un parcours archéologique*. Namur, Service public de Wallonie.

DE WAELE É., WILLEMS, D., VAN NIEUWENHOVE B., TIMMERMANS J., VAN HOVE M.-L., COLLETTE O., CHALLE S. et FESLER R., 2015. *Abbaye de Villers-en-Brabant : un bâtiment insoupçonné sur la colline*

de la ferme. In : FRÉBUTTE C. (éd.), 2015. *Pré-actes des Journées d'Archéologie en Wallonie, Rochefort*. Namur, DGO4 (Rapports, Archéologie, 1) : 91-92.

DUBUISSON M., MARTIN J. et PLATEAU Y., 2010. *L'abbaye de Villers*. Bruxelles, Casterman.

DUBUISSON M. et NIEUW J.-F., 2019. Fondations monastiques et concurrence seigneuriale. Le cas des Cisterciens de Villers en Brabant (1146). *Cîteaux, commentarii cistercienses*, 70 : 5-46.

DUBUISSON M., 2017, La fabrication de la bière à l'abbaye de Villers : les limites d'une reconstitution « à l'identique ». In : *La bière dans les abbayes, une histoire revisitée. Actes de la journée d'étude du 8 mai 2015*, Namur, Institut du Patrimoine wallon (Dossiers de l'IPW, 24) : 109-117.

FOULQUES DE CAMBRAI, ca 1200. *La fondation de l'abbaye de Vaucelles*. éd. Benoît-Michel Tock, 2016. Paris, Les Belles-Lettres.

HENRIVAUX O., 1996. *Inventaire analytique des archives de l'abbaye de Villers à l'archevêché de Malines-Bruxelles*. Villers-la-Ville, APTCV.

HENRIVAUX O., 2002. *Autour de l'abbatit de Robert Henrion. 180 ans d'histoire de l'abbaye de Villers, 1486-1666*. Beauvechain, Nauwelaerts.

HENRIVAUX O., 2004. Jacques Hache, abbé de Villers, 1716-1734. Beauvechain, Nauwelaerts.

KOCKEROLS H., 2010. *Les gisants du Brabant wallon*. Namur, Les Éditions namuroises.

PLOEGAERTS T. et BOULMONT G., 1914-1926. L'abbaye cistercienne de Villers pendant les cinq derniers siècles de son existence. Histoire religieuse et économique du monastère. *Annales de la Société archéologique de l'Arrondissement de Nivelles*, t. XI : 93-679.

SHERIDAN P., 1895-1896. Les inscriptions sur ardoise de l'abbaye de Villers, *Annales de la Société d'archéologie de Bruxelles*, t. IX, 3 : 359-362 et 4 : 454-459 ; t. X, 2 : 203-215 et 3-4 : 404-451 (rééd. 1999. Bruxelles, Archives générales du Royaume).

-, 2015. Centre d'accueil et circuit visiteur de l'Abbaye de Villers-la-Ville. In : Norman A. (éd.), 2015. *Architectures*, t. 15, 9 espaces culturels en Brabant wallon. Wavre : 51-56.

Terra Mosana. Les réalités 3D et augmentée à l'Archéoforum

Roland BILLEN, Muriel VAN RUYMBEKE et
Madeleine BRILLOT

Au cœur de la ville, l'Archéoforum retrace des milliers d'années d'histoire liégeoise. Occupés au Néolithique, aux alentours de 5 000 ans avant notre ère, les lieux auraient déjà été visités par des Néandertaliens il y a un peu plus de 50 000 ans. Idéalement situés aux abords du confluent de la Meuse et de la Légia, ils ont offert à nos ancêtres un terrain non seulement bien exposé mais également riche en matières premières. Plus tard, les Gallo-Romains ne s'y sont pas trompés en y installant un établissement de belle taille dont la fonction reste sujette à hypothèses, bien qu'une des interprétations les plus courantes fasse de celui-ci une villa. Mais l'événement le plus emblématique a lieu quelques siècles plus tard, aux alentours de l'an 700. Lambert, à la tête de l'évêché de Tongres-Maastricht, meurt assassiné dans une demeure située dans ce fond de vallée, en représailles d'une querelle armée avec Dodon, puissant personnage de l'époque. Plusieurs édifices religieux se succèdent alors, du *martyrium* lié au culte des reliques de l'évêque à la grandiose cathédrale gothique détruite par les Liégeois eux-mêmes lors de la Révolution de 1793.

De remblaiements en fouilles et de destructions tumultueuses en tensions, les trois derniers siècles de la place Saint-Lambert, véritable nœud de circulation urbain, ont été le cadre d'incessants rebondissements. La place voit son aménagement se modifier radicalement, la conservation des vestiges n'étant pas la préoccupation majeure de périodes monopolisées par

le progrès et le « tout à la voiture ». Un peu avant les années 2000, les décisions sont prises : les entrailles de la Cité ardente seront sauvées, mises en valeur et rendues aux citoyens par le biais de la création d'un site de 3 725 m². Le 22 novembre 2003, l'Archéoforum est inauguré par les autorités régionales et communales.

Ouverture et choix scénographiques

Dès les prémices du projet, les choix scénographiques se sont portés sur l'illustration de chaque période de l'histoire du site. Rendre intelligibles plus de 50 000 ans d'histoire sans dénaturer le site, également considéré comme une réserve archéologique destinée aux générations futures, restait une gageure. L'Institut du Patrimoine wallon, qui s'était déjà frotté à la scénographie muséale avec l'abbaye de Stavelot, propriété régionale gérée par une association sans but lucratif, a mené les nombreux marchés inhérents à la conception, l'administration de la Région wallonne s'occupant plus particulièrement de la conservation des vestiges. Un parcours de visite doublé de panneaux multilingues et d'une signalisation didactique lumineuse, a été intégré aux ruines. Mais cette scénographie n'était rien sans l'apport extraordinaire de la pédagogie guidée. Les visiteurs de type individuel étaient regroupés et partaient toutes les heures. Ils bénéficiaient ainsi, à la façon d'une visite guidée réservée par un groupe scolaire, de la médiation d'un guide spécialisé dans l'une des matières présentées.

2012, nouvelle scénographie et introduction de tablettes

Après un peu moins de dix ans d'ouverture, un audit interne amena à un changement fondamental du déroulement des visites. Les visites guidées pour tous furent remplacées par une innovation encore très peu fréquente à l'époque : une visite individuelle menée grâce à une tablette multimédia interactive. À l'accueil, chaque visiteur recevait une tablette et entamait, seul, un parcours scénographiquement adapté à cette nouvelle façon de visiter. Quant aux visites guidées, elles se poursuivaient au profit des groupes constitués, scolaires ou non. Au confort de l'apport personnalisable de connaissances s'ajoutaient la manipulation ludique et digitale ainsi que la combinaison fluide de médias variés (photos, textes, audios, jeux...) dans un outil unique. Le design soigné se coordonnait à la ligne graphique générale, créant une impression de cohérence.

Il est néanmoins à noter qu'assez rapidement, l'introduction à la visite, pourtant prévue et intégrée dans la tablette, bascula vers un accueil proposé par un guide devant la maquette du site, le digital semblant ne pas pouvoir remplacer un premier contact humain. Une version en papier de la visite, sous la forme d'un carnet explicatif, fut aussi éditée (et continue à l'être), ici également un autre type de support demeurant indispensable pour un certain public.

Dans la continuité de cette première plongée dans le monde des technologies, la participation à un projet européen en grande partie tourné vers les technologies de pointe en archéologie prenait tout son sens.

Terra Mosana, un projet novateur

Terra Mosana est un projet de l'Interreg Euregio Meuse-Rhin rassemblant plusieurs partenaires financés dont

cinq villes (Maastricht, Aix-la-Chapelle, Liège, Tongres et Leopoldsborg), quatre universités (l'Université de Liège, l'Université de Maastricht, la RWTH et la KU-Leuven) et trois institutions muséales (la citadelle de Jülich, l'Archéoforum de Liège - AWaP et Be-Mine de Beringen). Le projet collabore également avec plusieurs partenaires associés, non financés. L'objectif principal de ce projet, lancé le 1^{er} juin 2018 et clôturé le 30 novembre 2021, était de renforcer l'attractivité touristique de l'Euregio Meuse-Rhin (EMR) et le sentiment d'appartenance à une identité commune à travers l'exploitation digitale de son patrimoine culturel. L'expression « Terra Mosana », établie par les historiens impliqués dans le projet, désigne un territoire baigné par la rivière Meuse, qui le traverse du sud au nord. Cette zone est actuellement partagée entre trois pays, les Pays-Bas, l'Allemagne et la Belgique, et couvre quatre provinces : la province de Liège, la province du Limbourg belge, le Land de Rhénanie du Nord-Westphalie et la province du Limbourg néerlandais. Les réalisations prévues sont nombreuses : films, expositions, expériences de réalité virtuelle... Certaines d'entre elles seront seulement présentées au public dans le courant de 2022.

Les expériences virtuelles à l'Archéoforum

Les réalisations et expériences de Terra Mosana privilégient les récits historiques dont l'influence a dépassé le niveau local et participent à la compréhension de l'évolution du territoire dans son ensemble. Un intérêt tout particulier a été porté aux déplacements des « capitales éphémères » car, contrairement aux régions voisines, les sièges du pouvoir temporel, spirituel ou judiciaire s'y sont déplacés à plusieurs reprises.

La naissance symbolique de Liège est associée à l'assassinat de saint Lambert, une affaire criminelle et un fait historique qui a conditionné toute l'histoire régionale.

C'est une des causes du transfert du siège épiscopal de Maastricht à Liège et, par conséquent, du développement de la ville de Liège. L'Archéoforum est aussi le lieu de l'érection des cathédrales successives jusqu'à la Révolution liégeoise.

La première expérience : l'évolution du lieu de l'assassinat

Le premier établissement de Liège à l'époque historique était une villa gallo-romaine. D'après les sources médiévales, Lambert aurait été tué dans « sa villa » de Liège. Il faut comprendre qu'il a probablement été assassiné dans une partie de l'ancienne villa gallo-romaine, réaménagée à la fin du 6^e siècle ou tout au moins complétée de bâtiments assemblés en matériaux légers. Bien plus tard, une crypte a été construite par le prince-évêque Notger comme un sanctuaire pour abriter les reliques de saint Lambert et permettre aux pèlerins de se recueillir. Elle a été aménagée sur le site du *martyrium*, c'est-à-dire l'endroit où Lambert avait été assassiné. Jusqu'à présent, il était difficile pour le visiteur d'imaginer que cette sorte de cave était à l'origine une cabane en bois, qui était adossée à une villa gallo-romaine. Il est également peu aisé de se représenter l'intérieur de la crypte notgérienne, qui était pourtant si populaire au 11^e siècle.

L'expérience de réalité virtuelle (RV) parvient à réimplanter un édifice mérovingien numérique en 3D à l'endroit où il se trouvait à l'origine. L'assassinat de Lambert est évoqué à travers une scène filmée intégrée à l'édifice virtuel. Dans un deuxième temps, ce dernier est transformé pour visualiser l'intérieur modélisé en trois dimensions de la crypte du 11^e siècle. La châsse contenant les reliques de saint Lambert est exposée et des pèlerins circulent autour d'elle.



Fig. 1
Modélisation par infographie de la cabane mérovingienne
© Terra Mosana - ULiège



Fig. 2
Prise de vue en studio au moment du tournage de la scène de l'assassinat © Terra Mosana - ULiège



Fig. 3
Modélisation par infographie de la crypte notgérienne
© Terra Mosana - ULiège



Fig. 4

Modélisation préalable de la position des deux écrans-portes vers le passé à partir des vestiges actuels de la crypte © Terra Mosana - ULiège

La reproduction de ces deux scènes est réalisée grâce à deux dispositifs immersifs positionnés dans les ruines de la crypte. Le positionnement exact de ces dispositifs est décrit dans la quatrième figure. Ils sont constitués d'un téléviseur vertical, d'un ordinateur et d'une caméra sensible aux mouvements du spectateur. La caméra est placée sur le bord supérieur de la télévision. Elle suit le mouvement de la tête du téléspectateur qui regarde la télévision, et lorsque celui-ci bouge la tête, l'image est adaptée pour donner l'impression que le téléspectateur regarde à travers une fenêtre et non une télévision.

La deuxième expérience : les cathédrales successives et la croissance urbaine

Dans l'Archéoforum, le lieu appelé héli-coupoles permet d'observer l'enchevêtrement des murs ouest des diffé-

rents bâtiments qui ont succédé à la villa gallo-romaine après l'assassinat de Lambert : l'église mérovingienne, la cathédrale carolingienne, la cathédrale notgérienne/romane et la cathédrale gothique.

L'espace dévolu aux visiteurs se trouve à l'extérieur de ces bâtiments anciens. Dans l'état actuel du parcours, il est assez difficile de faire prendre conscience aux non-spécialistes de deux choses importantes : la position de ce qu'ils voient par rapport à la place Saint-Lambert et l'élévation réelle des bâtiments anciens. L'expérience RV permet de répondre à ces deux questions. Pour commencer, le visiteur peut assister à la reconstruction successive de chacun de ces murs, du plus récent au plus ancien, à l'aide de lunettes virtuelles. Le spectateur - manipulateur du casque virtuel - peut explorer ces anciens pignons en décidant où pointer ses jumelles.



Fig. 5

Modélisation par infographie du site vers 700 © Terra Mosana - Uliège

Ensuite, les murs disparaissent pour laisser place à la villa gallo-romaine. Le visiteur recule et s'élève progressivement dans les airs (tout cela de manière virtuelle bien entendu). Il découvre le paysage d'époque romaine, entame une lente rotation aérienne autour du site et assiste à son évolution dans le temps. Cette expérience peut être vécue grâce à deux dispositifs de lunettes RV positionnées dans l'hémi-coupole, face aux vestiges.



Fig. 6

Lunettes RV de l'hémi-coupole - évocation des différentes cathédrales et développement urbain à partir des vestiges © Terra Mosana - Uliège

Les deux expériences de l'Archéoforum ont été conçues selon le même protocole de création. Tout d'abord, les infographistes ont utilisé les nuages de points des sites archéologiques obtenus par balayage laser. Pour reconstituer les bâtiments en élévation, ils ont utilisé les plans de fouilles et ont établi un dialogue avec les archéologues pour les détails des élévations (superstructures, textures...). Les modèles 3D ont été conçus à l'aide du logiciel Unity.

Premier retour des visiteurs

Le 8 octobre 2021, les deux expériences de l'Archéoforum étaient inaugurées par la Ministre du Patrimoine, les partenaires de Terra Mosana et les représentants de l'AWaP. Dès le lendemain, les visiteurs ont intégré les expériences dans leur cheminement.

Un rapide sondage opéré en mars parmi les visiteurs a abouti aux conclusions suivantes. Cinquante-cinq personnes ont donné leur avis sur les deux expériences : l'assassinat de saint Lambert a obtenu une note de 3,89 sur 5 tandis que l'évolution de la place, correspondant pour beaucoup à l'image que les visiteurs se font de la 3D, a reçu la cote de 4,58 sur 5. Les maladies, que nous espérons de jeunesse, sont apparues dans une proportion moyenne (10 fois sur 55). Essentiellement dues à la sensibilité du matériel et à sa conception sur mesure, elles consistaient en l'arrêt de l'écran, créant chez le visiteur incompréhension, voire frustration. Effectivement, qui n'a pas été exaspéré, lors d'une visite dans un musée, par du multimédia qui ne fonctionnait pas ou mal !

Les suggestions des visiteurs sont intéressantes à plus d'un titre et témoignent d'un besoin d'accompagnement et d'explications supplémentaires, notamment sur le fonctionnement des lunettes 3D (possibilité de les monter et de les descendre) ainsi que des niveaux de lecture supérieurs (détails de l'assassinat). Quant à la dernière remarque la plus souvent formulée, elle résume une préoccupation majeure d'un parcours de visite, véritable casse-tête de tout gestionnaire de musée : offrir l'accès à un matériel aussi bien utilisable par les adultes que par les enfants.

À la question finale, « ces expériences virtuelles sont-elles un plus pour l'Archéoforum ? », la moyenne des notations que les participants ont accordées s'élève à 8,5 sur 10, clôturant de façon très positive le sondage.

Conclusion

Le recours aux nouvelles technologies dans un contexte muséal s'est amplifié ces dernières années. Les exemples deviennent nombreux et prennent des directions multiples. De la mise en avant d'une vision scientifique liée à la conservation d'un patrimoine en péril dans *Lascaux Experiences* (Préhistomuseum, jusqu'au 31 mai 2022) à l'exposition *Entertainment*, prétexte à une manifestation qui n'a d'exposition que le nom et qui ne rassemble finalement que peu ou pas d'objets authentiques (l'exposition *Van Gogh*, itinérante et l'an prochain à Bruxelles, *Klimt. The immersive Experience* à Bruxelles également cette année et *Inside Magritte* à la Boverie, une des rares prenant place dans un musée), tous démontrent l'importance de la transmission et de la reconstitution, que l'on croyait d'un siècle passé, à l'image des anciens dioramas : vivre « pour du vrai » les sensations qui découlent de la découverte et l'admiration de l'art et du patrimoine, ressentir l'immersion dans un ailleurs, interagir avec ce que l'on voit et observe. Pendant la pandémie, le constat du bienfondé de ces technologies au niveau didactique s'est fait certitude, même pour les plus réticents : aucune institution ne semble désormais plus pouvoir faire l'économie de ces apports. Bien sûr, les coûts sont encore énormes, l'obsolescence et une certaine fragilité de l'équipement ne rassurant pas non plus les gestionnaires. Mais la dimension supplémentaire offerte par les réalités augmentée et virtuelle au sein même du contenu et de la narration des institutions muséales s'avère définitivement enthousiasmante et ouvre le champ des possibles.

Bibliographie

RAEPSAET-CHARLIER M.-T. et VANDERHOEVEN A., 2004. Tongres au Bas-Empire romain. In : FERDIÈRE A. (éd.), 2004. *Capitales éphémères. Des capitales de cités perdent leur statut dans l'antiquité tardive*. Tours, 25^e supplément à la Revue archéologique du Centre de la France : 51-73.

RENSON A., 2004. *Archéoforum de Liège. Une ville retrouve ses racines*. Namur, Institut du Patrimoine wallon.

VANDERHOEVEN A., 2004. Tongres / Atuatuca (Belgique). In : FERDIÈRE A. (éd.), 2004. *Capitales éphémères. Des capitales de cités perdent leur statut dans l'Antiquité tardive*. Tours, 25^e supplément à la Revue archéologique du Centre de la France : 481-485.

2

L'INNOVATION

en faveur de la connaissance,
de la conservation et de la restauration
du patrimoine



I

L'INNOVATION AU SERVICE DE LA PROSPECTION, DE L'ENREGISTREMENT ET DE LA MODÉLISATION

Les technologies de pointe utilisées en archéologie

Jean-Noël ANSLIN

Depuis une vingtaine d'années, les disciplines du patrimoine ont bénéficié de l'apport de technologies de pointe permettant un enregistrement en trois dimensions, de plus en plus dense et précis, de la morphologie des objets, des monuments, des sites archéologiques voire de pans entiers d'un territoire.

Les termes « scanner 3D », « LiDAR », « télédétection » et « photogrammétrie » ont fait leur apparition aussi bien dans les études et les publications spécialisées que dans la presse écrite et télévisée à l'attention du grand public, ne manquant pas l'occasion de mettre en scène des modèles numériques percutants lorsqu'ils sont disponibles.

Présentés sous forme de modèles d'analyses ou de séquences animées, les résultats produits à l'aide de ces innovations technologiques permettent désormais de visiter et d'appréhender des sites entiers de manière dynamique, au travers d'un reportage, d'une application mobile ou à l'aide d'un navigateur Web depuis son salon.

Produire un modèle tridimensionnel d'un sujet requiert des outils et des méthodes adaptés, qu'il soit isolé comme une statue ou du mobilier archéologique

(céramique, orfèvrerie, décor, outil...) ou étendu et continu comme un monument, un site ou un territoire.

La documentation tridimensionnelle fait désormais partie de la panoplie des outils disponibles pour la recherche, la gestion et la promotion du patrimoine.

Deux méthodes sont employées couramment dans le domaine du patrimoine, soit indépendamment, soit de manière combinée et intégrée : la lasergrammétrie et la photogrammétrie.

Le thème des Journées du Patrimoine 2022 en Wallonie, *Patrimoine & Innovation*, constitue une occasion idéale pour la présentation (inévitablement simplifiée et condensée tant le sujet est vaste) de ces outils et technologies de pointe au travers de leurs usages variés dans le cadre des missions de service public en Wallonie.

Lasergrammétrie, Scan 3D, LiDAR

La lasergrammétrie englobe les approches reposant sur le balayage (scan) d'un sujet donné (objet, superficie étendue) au moyen d'une onde lumineuse (laser),

afin d'en enregistrer les répercussions sur la surface et de déterminer ainsi la position et la distance de points de mesure qui en définiront la morphologie en trois dimensions.

De manière simplifiée, la lumière émise par l'instrument inonde les surfaces du sujet et « rebondit », avec une intensité et des angles variables (variation selon l'angle d'émission, la nature des matériaux et l'orientation des surfaces). Ce rebond est instantanément enregistré, en retour, par les capteurs de l'instrument de mesure.

Cette caractéristique permet de mesurer, en direct et avec une très grande précision, la position en trois dimensions de chaque « impact » et d'obtenir une multitude de mesures (qui se comptent en millions ou en milliards selon les paramètres définis par les opérateurs pour chaque position d'émission lorsqu'il s'agit d'un scanner « statique », ou de manière continue lorsqu'il s'agit d'un scanner « mobile »).

Chaque lot de données mesurées indépendamment est assemblé avec les autres stations en utilisant comme référence des cibles fixes, communes entre les scans, pour assurer la cohérence de l'assemblage, permettre un positionnement précis des différentes prises et produire un nuage de points continu offrant une vue complète du sujet (le résultat se présente sous forme d'une multitude de points de « contact » qui forment un « nuage de points »).

L'acronyme anglophone LiDAR (pour *Light Detection And Ranging*, détection et évaluation de distance à l'aide de la lumière) est globalement utilisé pour regrouper les différentes technologies basées sur ce principe, tandis que les termes de lasergrammétrie ou de scan 3D sont plus couramment utilisés dans la littérature francophone pour désigner tant la méthode que le produit obtenu.

Ces mesures peuvent être opérées au sol (LiDAR terrestre) ou à partir d'un vecteur aéroporté (LiDAR aérien, opéré à partir d'avions, hélicoptères, drones, grues).

Pour les applications terrestres, les mesures sont effectuées à partir d'un point fixe (station à partir de laquelle les mesures sont effectuées par rayonnement) ou en mode mobile (véhicule, sac à dos, instrument porté à la main).

Les capteurs permettent également un enregistrement des couleurs des sujets étudiés, mais la qualité de cette colorimétrie reste inférieure à d'autres solutions (par exemple, la photogrammétrie). Il faut noter ici qu'un instrument de lasergrammétrie, émettant sa propre source lumineuse, peut fonctionner dans l'obscurité totale, lui offrant une certaine polyvalence pour les missions en grotte, dans des caves ou dans les combles. En l'absence d'éclairage, l'enregistrement colorimétrique sera cependant impossible.

Les mesures étant directes, la part la plus chronophage du travail s'opère sur le terrain. En revanche, la durée de finalisation est relativement courte : au retour d'une mission de lasergrammétrie, le traitement des données s'opère en récupérant les mesures effectuées pour un assemblage au moyen des repères communs entre les scans.

Les questions relatives au scan d'objets nécessitent des approches différentes bien que liées. Elles sont abordées plus loin (voir p. 65-70).



Fig. 1

Haut : vue d'un scanner tridimensionnel mis en station sur un trépied télescopique lors d'une session de formation, Bierset - vue générale des conditions d'opération de scan (formation en temps réel) sur la place Léopold à Arlon.

Bas : vue en plan de l'abbaye et coupe transversale dans l'abbatiale de Floreffe. Nuage de points issu des opérations de lasergrammétrie ayant impliqué plus de 450 stations de scan sur plusieurs niveaux (des caves aux combles). Les pastilles vertes représentent les stations de scan réparties afin de couvrir l'étendue du bâtiment et d'enregistrer les données sous tous les angles © AWaP

Photogrammétrie

L'étymologie du terme photogrammétrie (*φωτός/phótós* de *φῶς/phṓs*, la lumière, *γραφειν/graphēin* l'action de peindre, dessiner, écrire et *μετρία/metria* de *μετρον/metron*, la mesure) souligne quelques traits fondamentaux du sujet : l'importance capitale de la lumière, indispensable pour produire les clichés sources, l'aspect visuel/graphique qui caractérise les résultats, expliquant largement son impact sur la communauté du patrimoine, et la nature résolument métrologique de la pratique.

En simplifiant le principe, l'analyse métrologique de plusieurs clichés d'un même sujet, réalisés selon des angles différents, va permettre d'identifier des caractéristiques communes (de manière analogique ou automatique) et ainsi de restituer la morphologie en trois dimensions du sujet concerné. Pour offrir des résultats satisfaisants, la multiplication du nombre de clichés sources ainsi que des angles de prise de vue est essentielle.

La photogrammétrie peut également être employée depuis le sol (photogrammétrie terrestre) ou depuis les airs (photogrammétrie aérienne), mais, basée sur des procédés photographiques, elle nécessite impérativement un apport de lumière suffisant lors de l'acquisition et est très sensible à la présence d'ombres qui créent des interférences ou peuvent entraîner des erreurs lors du traitement.

Contrairement à la lasergrammétrie, qui effectue des mesures directes ne nécessitant qu'un assemblage pour être utilisées, la photogrammétrie implique un traitement long et différé, la part d'acquisition sur le terrain n'étant qu'une étape préliminaire, la plus rapide.

La part la plus chronophage d'une opération de photogrammétrie se déroule en réalité au bureau car les temps de calcul deviennent exponentiels en fonction

du nombre de clichés collectés sur site : quel que soit le logiciel employé, au retour d'une mission de terrain, un long processus de traitement s'opère au travers des mêmes étapes :

- la restitution structurelle de base par l'analyse des points correspondances (*Tie Points*) ;
- la densification du modèle, en recherchant le plus de correspondances valides possible (*Dense Matching*) ;
- la génération d'un modèle surfacique/maillage (*Meshing*) à partir des nuages de points denses ;
- la génération d'une texture (*Model Texturing*), à partir des caractéristiques colorimétriques du sujet, en « drapant » les clichés sur le modèle de manière précise.

Les traitements étant basés sur des procédés de calcul différés, statistiques, la photogrammétrie est sujette à des erreurs par rapport à d'autres méthodes de mesure directe et la qualité géométrique finale peut être inférieure, par exemple, à la lasergrammétrie.

En revanche, la qualité visuelle photoréaliste des résultats, basée sur une multitude de clichés photographiques, est de loin supérieure à la lasergrammétrie.

Une longue tradition

Les innovations présentées ici s'inscrivent dans la poursuite d'une dynamique entamée dès les premières années de la régionalisation des services du Patrimoine, avec une généralisation progressive et un ancrage de plus en plus large au sein des équipes de terrain de l'AWaP.

De 1991 à 2012, Jacques Debie, géomètre du patrimoine, a assuré des services de stéréophotogrammétrie terrestre et aérienne au sein du ministère de la Région wallonne puis du Service public de Wallonie.

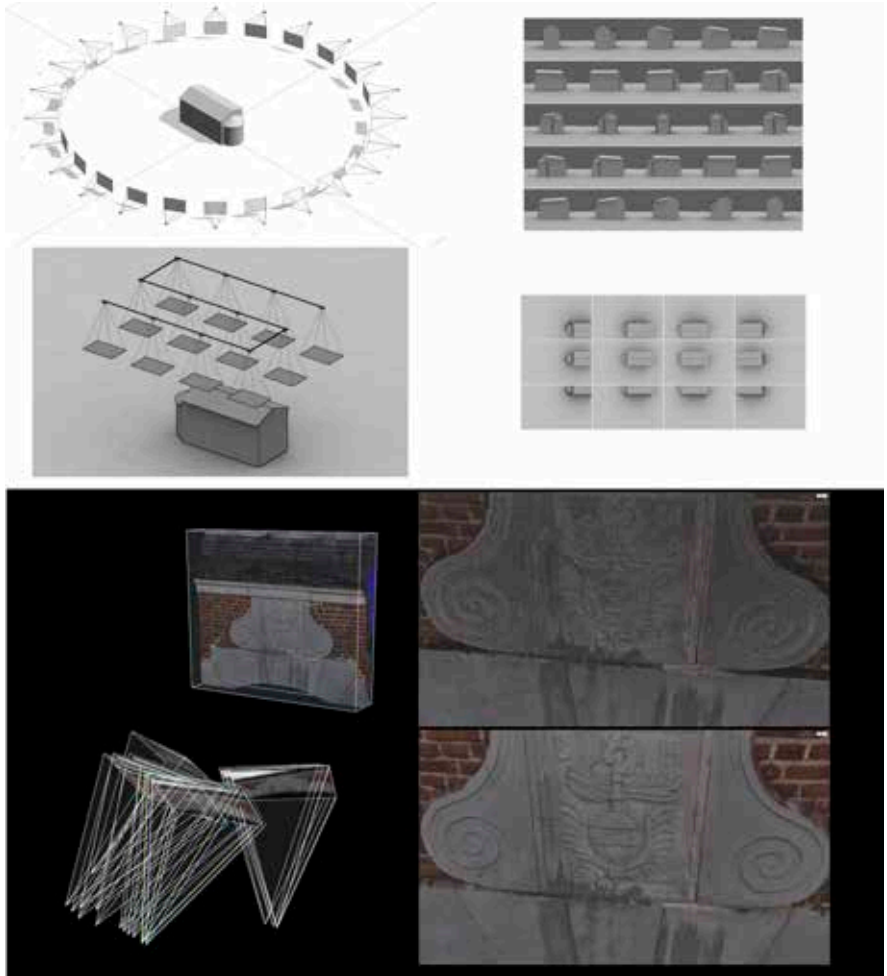


Fig. 2

Haut : schéma de principe des prises de vue terrestres et aériennes pour la réalisation d'un lever par photogrammétrie.

Bas : exemple de documentation tridimensionnelle par photogrammétrie du portail de l'abbaye de la Paix-Dieu à Amay - orientation des prises de vues et correspondances entre les clichés, vue du nuage de points dense obtenu et vue du modèle surfacique texturé © AWaP

Entre 2012 et 2017, des technologies de photogrammétrie par corrélation dense et la lasergrammétrie ont été expérimentées plus largement, puis introduites progressivement au sein des missions des services du Patrimoine.

À partir de 2018, en parallèle à la réorganisation du paysage institutionnel du Patrimoine wallon qui a donné naissance à l'AWaP, la photogrammétrie a connu une progression rapide et a été expérimentée à grande échelle (par exemple, les fouilles du Grognon à Namur), parallèlement ou conjointement à la lasergrammétrie. Les innovations concernées sont aujourd'hui bien ancrées.

Lasergrammétrie vs photogrammétrie

Autrefois souvent opposées ou privilégiées l'une par rapport à l'autre selon leurs disponibilités et les budgets nécessaires à leur mise en œuvre, lasergrammétrie et photogrammétrie se sont largement démocratisées tandis que la prolifération des drones a permis de résoudre les questions relatives aux choix des prises de vues (terrestres ou aériennes).

Les développements technologiques et méthodologiques récents produisant des modèles aux niveaux de détail plus fins en combinant données de scan 3D et données photogrammétriques dans un seul et même processus de traitement intégré, le choix des méthodes dépend uniquement des objectifs à atteindre.

L'évolution des coûts des technologies de pointe (instruments et processus de traitements intégrés) permet donc aujourd'hui une mise en œuvre conjointe afin de produire une documentation qualitative tirant le meilleur des deux approches et mettant enfin un terme à une concurrence stérile entre les technologies, où l'une serait « meilleure » que l'autre : les deux méthodes ont

en réalité toujours été complémentaires et compensent chacune les limites éventuelles de l'autre (meilleure qualité géométrique de la lasergrammétrie et meilleure qualité visuelle de la photogrammétrie).

Fusion des deux approches dans une démarche globale et intégrée : un enjeu d'avenir

L'évolution récente des approches intégratrices, désignées en tant que « capture de la réalité » ou « capture de l'existant », favorise aujourd'hui une convergence des différentes technologies de documentation du patrimoine en traitant toutes les sources (scans 3D et clichés photographiques, acquisitions terrestre et aérienne) dans un seul flux de traitement afin d'exploiter la quintessence des informations, de manière non exclusive.

Pour répondre à cet enjeu essentiel pour l'avenir et afin d'intégrer ces innovations dans le cadre des missions de service public, Le Département du Patrimoine, aujourd'hui intégré à l'AWaP, a bénéficié depuis 2010 d'investissements réguliers et conséquents en matière de « documentation spatiale » du patrimoine wallon.

Usages, approches et perspectives

Les applications principales de ces technologies de pointe trouvent une place privilégiée à plusieurs moments clés des interventions des services en charge du patrimoine :

- avant intervention, dans une approche de prospection et de télédétection ;
- pendant les interventions de terrain, dans une approche de documentation, de préservation et d'archivage des informations ;
- après intervention, dans une approche d'analyse et de synthèse.

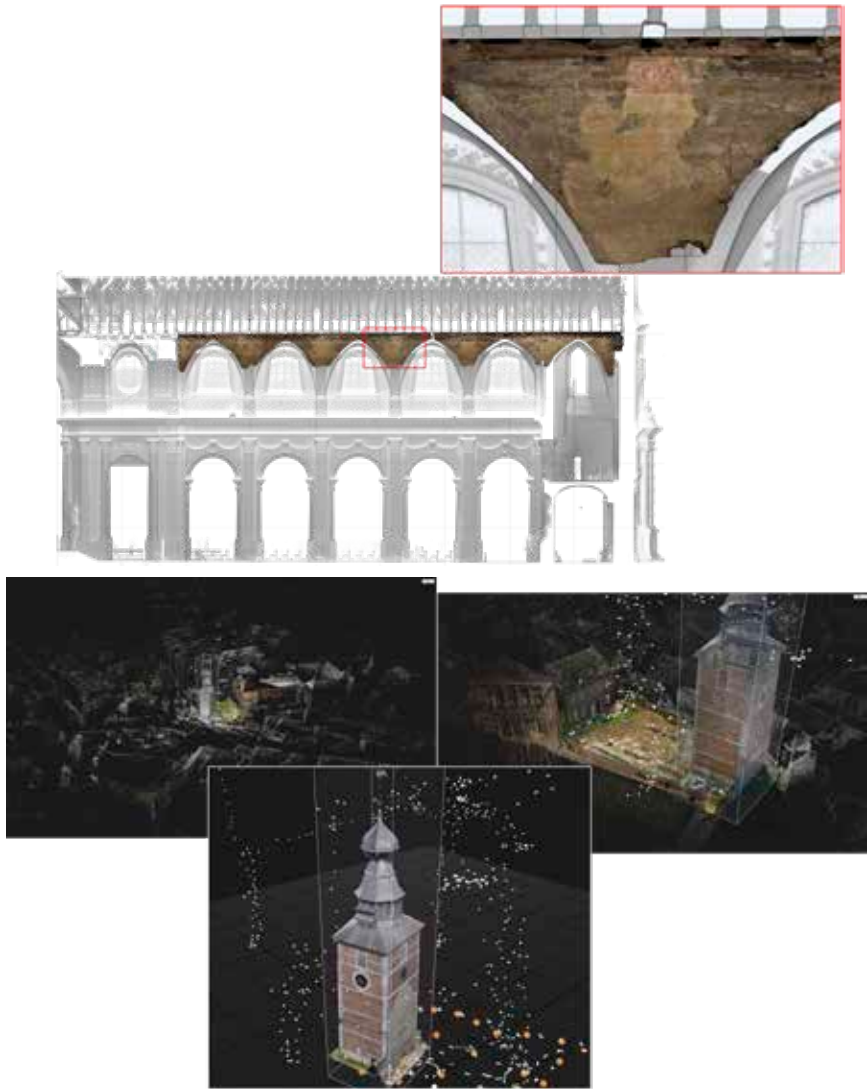


Fig. 3

Illustration de l'évolution technologique et méthodologique : convergence et complémentarité des méthodes dans un traitement intégré.

Haut : coupe en élévation des scans de la nef centrale de l'abbatiale de Floreffe, avec intégration des décors médiévaux peints, enregistrés par photogrammétrie et détail des décors.

Bas : vue générale des données collectées autour du beffroi de Gembloux (photogrammétrie aérienne et terrestre, lasergrammétrie) - zoom sur les fouilles du beffroi et vue du modèle surfacique texturé, résultant d'un traitement intégré. Les symboles blancs correspondent aux clichés photogrammétriques et les symboles orangés identifient les positions de scan 3D © AWaP

Prospection et télédétection

La prospection et la télédétection jouent un rôle important dans la prévention archéologique : anticiper la présence potentielle de traces archéologiques le plus en amont possible d'opérations d'aménagement du territoire est capital pour la gestion des ressources patrimoniales, qu'il s'agisse d'organiser des fouilles préventives ou de participer à une politique de protection/préservation des sites.

Des démarches préventives ou prospectives au sein des équipes de l'AWaP exploitent notamment les données LiDAR aériennes réalisées à l'échelle de l'ensemble de la Wallonie en 2013, accessibles au public sur le portail cartographique de la Wallonie sous forme d'un modèle

numérique des surfaces (MNS) ou de terrain (MNT), mais disponibles sous forme de données brutes, avec une résolution un peu plus fine, pour toutes les composantes du Service public wallon.

La prospection à grande échelle au moyen d'analyses avancées des données LiDAR, dont la classification, permet de sélectionner les caractéristiques voulues (sol, végétation...), met en évidence des phénomènes imperceptibles à l'œil nu, comme des accidents de reliefs et des structures enfouies, précise l'étendue de nombreux sites (nécropoles, fortifications, habitats ou champs de bataille...) ou révèle la présence de structures érigées par l'homme dans des environnements aujourd'hui couverts de végétation. Elle offre une perception jamais atteinte jusqu'à présent des reliefs

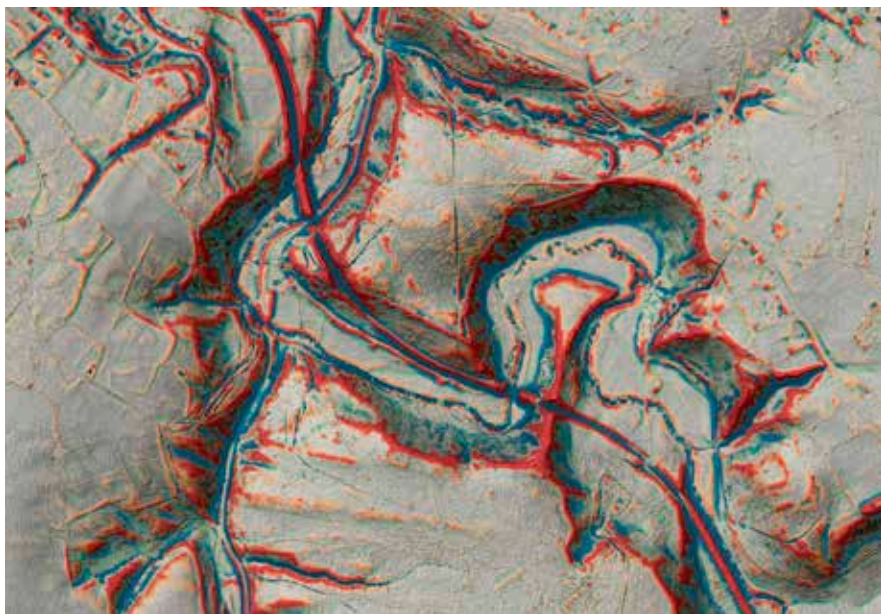


Fig. 4

Synthèse des analyses LiDAR : les valeurs de couleur indiquent les caractéristiques en creux ou en relief du terrain et mettent en évidence des anomalies, ici dans des zones de couvert forestier sur le site de Grand-Bon Dieu à Thuin © AWaP



Fig. 5

Vue des levers intégrés (scan et photogrammétrie) des décors du chœur de la collégiale Sainte-Croix, Liège © AWaP

du territoire wallon et contribue à la détection d'anomalies à surveiller ou à étudier en amont des processus d'intervention.

Les découvertes en prospection/téledétection, une fois confirmées par des observations de terrain, apportent un avantage non négligeable pour la mise en œuvre de procédures de classement ou la préparation d'interventions, dans une approche préventive à l'aménagement du territoire ou de gestion de la ressource forestière.

Documentation, préservation et archivage des informations durant les interventions de terrain

L'archéologie, et toute intervention intrusive liée aux études de monuments et de sites, rappelle une métaphore bien connue : la fouille s'apparente à la lecture d'un livre dont les pages s'effaceraient au fur et à mesure qu'on les tourne, en démontant au fur et à mesure les couches stratigraphiques et les structures

pour progresser dans la découverte et la collecte des témoignages des activités humaines passées.

La documentation systématique et la plus exhaustive possible des observations, ainsi que la préservation et l'archivage des informations, en temps réel au cours de la progression de l'étude, constituent donc un impératif capital dans les métiers du patrimoine.

Les technologies de pointe évoquées ici rendent désormais possible un enregistrement en trois dimensions (systématique, régulier et précis) des phénomènes observés, des structures découvertes, d'anomalies à analyser, ou des états sanitaires mis en évidence dans le cadre des missions de service des agents du patrimoine.

Les enregistrements tridimensionnels complètent les outils disponibles lorsque le besoin se présente et ne remplacent évidemment pas les autres approches plus traditionnelles (croquis, photographies...).



Fig. 6

Détail des enduits figuratifs conservés sur les maçonneries d'une salle souterraine (lunette dite du Jugement de Salomon), salle comtale, abbaye de Floreffe © AWaP

Les opérations à la croisée entre archéologie, archéologie du bâti et restauration illustrent l'apport de ces innovations et des technologies de pointe pour tous les agents du Service public mais aussi pour les partenaires externes engagés dans la sauvegarde et la restauration d'un patrimoine exceptionnel.

Des opérations interdisciplinaires ont été menées dans le cadre de restaurations architecturales à Liège mais aussi sur les sites de l'abbaye de Floreffe, de la cathédrale de Tournai, de l'abbaye d'Orval et du château de Mirwart, pour ne citer que quelques exemples qui ont fait l'objet de campagnes de levés par lasergrammétrie et photogrammétrie ces quatre dernières années.

Au travers de collaborations interdisciplinaires, les données collectées dans le cadre des travaux menés par l'AWaP ont fourni une documentation spécifique aux métiers du patrimoine (avec des paramètres de résolution et de précision spécifiques permettant des « zooms » sur des détails très précis), mutualisable au bénéfice de tous les partenaires (internes et externes à l'Administration).

Les collaborations avec les acteurs externes des projets constituent une opportunité exceptionnelle de valorisation des efforts et investissements consentis : en alimentant un référentiel commun de données, la documentation tridimensionnelle issue des travaux de l'AWaP favorise un meilleur dialogue et une prise en considération des aspects spécifiques du patrimoine.

Analyse et synthèse

L'acquisition des données ne constitue qu'une étape dans le processus de documentation : les sources collectées sur le terrain dans le cadre des interventions doivent ensuite être traitées et exploitées pour produire les résultats répondant aux besoins des missions. Ortho-photoplans (projections planes selon des axes et des plans spécifiques, horizontaux ou verticaux), extractions des données de mesure selon les axes de coupe et de profils d'élévation, modèles analytiques des déformations, analyses des variations liées à l'hygrométrie des surfaces... La variété des analyses et traitements est très large, permettant d'interroger le référentiel commun (données collectées et intégrées) selon les

questionnements propres aux différentes approches et aux besoins spécifiques des acteurs du domaine.

Si les exploitations les plus courantes restent la réalisation de relevés « traditionnels » (plans, coupes, profils d'élévation en deux dimensions), l'apport des nouvelles technologies réside dans la précision des données et dans la densité d'information collectées dans des délais plus courts que pour les approches au fil à plomb et au papier millimétré (la contraction des ressources humaines disponibles et des délais d'intervention rend de plus en plus difficile la mise en œuvre de ces pratiques manuelles qui restent cependant fondamentales en raison de la finesse des observations, les spécialistes étant littéralement au contact de la matière). Les technologies de pointe ne remplacent donc en rien les approches plus classiques, mais en sont complémentaires : quelle qu'en soit la qualité, les données collectées ne représentent qu'une

myriade de mesures et ne prennent leur sens que lors de l'intégration des observations de terrain, des identifications et des observations effectuées par les acteurs du patrimoine et l'usage de technologies innovantes répond *in fine* autant à des impératifs pragmatiques qu'à un choix délibéré.

Si le scan 3D ou la photogrammétrie remplacent de plus en plus souvent le crayon, le mètre pliant et le fil à plomb, l'humain reste essentiel pour le traitement, l'interprétation et le discernement de l'information dans la masse des données collectées. Par exemple, complétés par les informations sémantiques issues des travaux et analyses interdisciplinaires, les modèles en trois dimensions permettent d'ancrer dans l'espace une véritable base de données des informations descriptives des bâtiments ou des sites voire de produire des modèles en quatre dimensions, ajoutant la dimension temporelle à la dimension spatiale.



Fig. 7

Vue de la face nord de la collégiale Sainte-Croix, Liège. Impressions des scans 3D sur la bâche de protection des travaux © AWaP

L'aperçu sommaire de quelques technologies de pointe au service du patrimoine ne traite ici que d'une infime partie des possibilités d'exploitation : du HBIM (*Historic Building Information Modeling*) à la matérialisation de ces modèles au moyen de l'impression en trois dimensions, de l'anastylose virtuelle à la réalité augmentée, des calculs d'ingénierie appliquée aux doubles numériques (*Digital Twins*), de la segmentation automatique à l'utilisation d'intelligence artificielle... Les exploitations possibles des données collectées sont en réalité aussi nombreuses que les questions qui guident les missions des acteurs du patrimoine et les innovations sont permanentes.

Conclusion

Le patrimoine a connu l'apport de nombreuses innovations (photographie, méthodes de datation, approches méthodologiques de plus en plus rigoureuses, archéométrie, informatisation des données et des traitements...) dans sa longue évolution, autrefois passe-temps des quelques érudits bien nantis et aujourd'hui devenu un domaine interdisciplinaire à part entière reposant sur des bases scientifiques solides.

En corollaire, le patrimoine est aujourd'hui un incubateur d'innovation, un « bouillon de culture » et un domaine de choix pour l'expérimentation technologique, offrant une vitrine et une carte de visite de grand prestige aux concepteurs et aux producteurs de solutions technologiques.

Les technologies de pointe survolées ici ne sont que quelques exemples, probablement plus visuels que d'autres, d'avancées et innovations majeures qui ont intégré la panoplie des outils et méthodes disponibles pour les disciplines du patrimoine.

Toutes technologiques qu'elles puissent être, les innovations reposent aussi, et avant tout, sur l'investissement et la volonté des acteurs du patrimoine de progresser et d'affronter les contraintes afin de rencontrer les besoins et d'accomplir leurs missions.

Des missions dont les événements et catastrophes récents (incendie de la cathédrale Notre-Dame de Paris, conflits en Syrie, en Irak, au Yémen, au Mali ou en Ukraine...) nous rappellent à quel point le domaine du patrimoine culturel est fragile et essentiel pour la mémoire de nos sociétés, la survie de nos cultures.

Un laboratoire à grande échelle : nouvelles méthodes de relevés et d'enregistrement archéologiques sur le chantier du Grognon à Namur

Élise DELAUNOIS et Céline DEVILLERS

Le site du Grognon à Namur, à la confluence de la Meuse et de la Sambre, a fait l'objet d'une vaste intervention archéologique entre 2017 et 2019, en préalable à la construction d'un parking souterrain. Plus de vingt-cinq siècles d'histoire, depuis la Préhistoire jusqu'au milieu du 20^e siècle,

y étaient ensevelis et ont été mis au jour au cours d'une opération archéologique préventive hors normes, tant au point de vue de l'ampleur du site que des moyens alloués à sa fouille. Ce chantier a donc été l'occasion de tester et d'appliquer une méthode d'enregistrement et de traitement des données



Fig. 1

Les relevés au quotidien sur chantier. Topographie à la station totale et relevé photogrammétrique terrestre du rempart du 13^e siècle © AWaP

archéologiques de terrain jusqu'ici peu utilisée à grande échelle en Wallonie.

Sur le terrain, suivre au quotidien le rythme soutenu du chantier

Durant l'opération, plus de 42 000 points topographiques, 560 relevés photogrammétriques, 750 ortho-images, huit survols par drone et au total, plus de deux téras de données numériques ont été consignés. Pour gérer et traiter cette quantité considérable d'informations dans les délais impartis et faciliter leur consultation et leur partage par les seize membres de l'équipe, tout au long de la fouille puis durant la post-fouille, les vestiges de la confluence ont été enregistrés en combinant la topographie et la photogrammétrie. Ces données ont ensuite été intégrées dans un SIG (système d'information géographique, voir ci-dessous) afin d'offrir un système centralisé accessible à chaque acteur de terrain. L'équipe a graduellement été formée à la méthode, ce

qui a permis de la rendre opérationnelle à tout moment. Au jour le jour, sur le terrain, tous les éléments nécessaires à l'établissement des plans des vestiges (localisation, dimensions, orientation, position des uns par rapport aux autres...) ont été recueillis à l'aide d'une station totale, un appareil de topographie qui enregistre la position de points en trois dimensions (x, y, z). Après quelques manipulations informatiques pour uniformiser les données, ces relevés ont été intégrés dans une première base de données topographiques via le logiciel de cartographie QGIS, quotidiennement alimentée. Cela a permis à l'équipe de disposer rapidement d'un plan d'ensemble de la fouille qui suivait l'avancement du chantier et de s'assurer du bon déroulement de l'enregistrement des vestiges. La stratégie de la fouille pouvait ainsi être orientée selon les besoins scientifiques (hypothèses à confirmer, lacunes à combler) ou les priorités liées à l'avancement du chantier de construction (tel secteur devant être libéré pour l'aménagement d'une rampe d'accès, tel autre approfondi pour la construction d'une cage d'ascenseur...).



Fig. 2

Modèle en trois dimensions d'une cave romaine relevée par photogrammétrie et son plan en ortho-image © AWaP

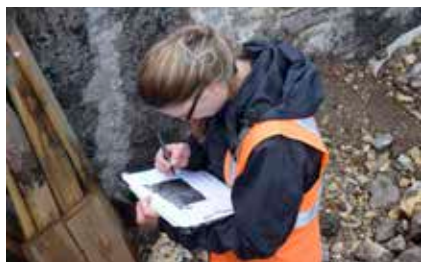


Fig. 3

Annotation d'une ortho-image sur le terrain © AWaP

En parallèle, la quasi-totalité des vestiges a fait l'objet d'enregistrements photogrammétriques. La photogrammétrie est une technique mise au point dans la seconde moitié du 19^e siècle, résultant de l'invention de la photographie peu auparavant. Elle se base sur une propriété anatomique et physique que nous possédons naturellement, appelée stéréoscopie : l'homme voit un objet en trois dimensions grâce à ses deux yeux, car, légèrement écartés, chaque œil voit cet objet en deux dimensions sous un angle différent de l'autre. En fusionnant les deux images, le cerveau nous permet de voir en trois dimensions. La photogrammétrie utilise ce principe pour obtenir la représentation précise d'un objet en trois dimensions (forme, dimensions, position), grâce à une succession de photos et de calculs.

Concrètement, sur le chantier de fouille, il s'agit de prendre une série de photos en suivant un protocole précis et de mesurer des points de référence. Les photos sont prises avec un appareil photographique numérique depuis le sol, on parle de photogrammétrie terrestre, ou en hauteur, à partir d'un drone, pour la photogrammétrie dite aérienne. Le survol avec un drone facilite l'enregistrement de la totalité du chantier de fouille. Dans les deux cas, les prises de vues s'effectuent de manière rigoureuse en cheminant pour

qu'elles se recouvrent d'environ 80 % et englobent l'ensemble des vestiges depuis différents angles de vue, prérequis du principe de la stéréoscopie. Les points de référence, matérialisés sur le secteur à photographier par des cibles, sont mesurés avec la station totale et doivent être uniformément répartis sur toute la surface à enregistrer. Un logiciel informatique joue ensuite le rôle du cerveau humain pour assembler le tout et produire un modèle numérique en trois dimensions qui recrée virtuellement les vestiges : les images permettent de reconstituer leurs formes tandis que les mesures en apportent l'échelle, la position et l'orientation. Ceci, afin de produire un modèle dit géoréférencé, c'est-à-dire correctement positionné dans les trois dimensions, selon le système de coordonnées géographiques en vigueur (dans ce cas-ci, système national belge Lambert 72 et système altimétrique du DNG - deuxième nivellement général). Lors du chantier du Grognon, le logiciel Agisoft Photoscan (aujourd'hui Agisoft Metashape) a été utilisé.

À partir des modèles en trois dimensions, des ortho-images sont générées, c'est-à-dire des images métriques en deux dimensions correspondant à la projection de l'objet sur un plan. Il s'agit de vues en plan, d'élévations ou de coupes, combinant le rendu visuel d'une photo à la justesse du relevé métrique. Tirées en couleur sur papier, elles sont directement annotées sur le terrain par les archéologues. La méthodologie mise en place au Grognon a permis à l'équipe de disposer des ortho-images avant la destruction des vestiges, afin de s'assurer de la cohérence du résultat et de servir en continu de supports graphiques à l'enregistrement de toutes les informations nécessaires à l'interprétation ultérieure des découvertes, les commentaires, interprétations et descriptions étant directement annotés sur le tirage papier. Ces minutes de terrain annotées constituent ainsi les archives originales de la fouille, plus pérennes que les fichiers informatiques dont ils sont issus.

Disposant de la sorte d'une version numérique des vestiges, il est même possible, pour ce qui est de la production de documents de travail, d'aller au-delà de la réalité telle que celle observée sur le terrain. Ainsi, l'assemblage de plusieurs ortho-images permet par exemple d'obtenir des vues illustratives combinant des phases de chantier qui ne se sont pas déroulées simultanément, avec des zones qui n'ont pas été fouillées en même temps en raison de contraintes organisationnelles. Avec la reconstruction photogrammétrique en trois dimensions des vestiges, d'autres possibilités d'exploitation de la 3D sont bien entendu envisageables. Par exemple, le modèle numérique de terrain (MNT) offre une modélisation du chantier de fouille dont les couleurs correspondent

à des fourchettes d'altitudes définies ; dans le cadre de l'opération Grognon, cet outil a constitué une aide non négligeable pour l'organisation du chantier selon le planning prescrit par l'aménageur suivant des zones et des niveaux bien définis à atteindre et imposés par lui.

Après la fouille, analyser et illustrer les données

La phase de terrain a donc été l'occasion de produire une masse considérable de documentation se présentant sous des formes diverses, tant en termes de contenu que de format. Il s'agit ainsi des données numériques dont

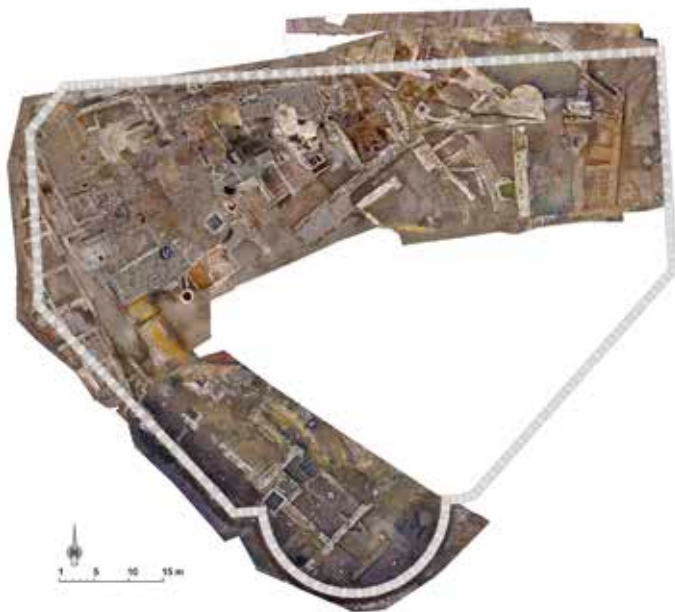


Fig. 4

Ortho-image assemblant plusieurs phases du chantier archéologique réalisées entre mars 2017 et mai 2018. P.-M. Warnier © TLPE

il a été question ci-dessus (relevés topographiques et photogrammétriques) mais aussi de photos et de données matérielles (descriptions standardisées rédigées sur des fiches papier, listes de prélèvements d'objets ou d'échantillons...). Pour faciliter la compréhension, lors de la phase d'étude, des différents vestiges découverts et pour optimiser l'archivage des données, il est fondamental d'intégrer l'ensemble des informations dans un seul système informatique centralisé. Ce dernier doit à la fois contenir les données spatiales (localisation et plan des vestiges) et les données descriptives (observations réalisées sur terrain, photos, résultats d'analyses, datations...) qui s'y rapportent.

L'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) s'impose dès lors comme la solution la plus adaptée aux besoins d'un chantier archéologique. Un SIG est « un système informatisé permettant, à partir de diverses sources, de rassembler, d'organiser, de gérer, de modéliser, d'analyser et de combiner, de simuler, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement afin de contribuer à la connaissance de l'espace » (Pirrot, 2004).

En pratique, les SIG réunissent en une même interface les fonctionnalités des logiciels de gestion de base de données, de dessin vectoriel et de traitement d'images tout en y ajoutant bon nombre de fonctionnalités, notamment statistiques. Nous pouvons ainsi créer des cartes thématiques, les diffuser en ligne ou les imprimer. Grâce à de nombreux algorithmes, il est possible d'analyser les relations spatiales entre les objets représentés et de prédire leur répartition théorique dans des endroits similaires. Le traitement d'images aériennes ou satellitaires est une autre utilisation bien connue des SIG, par exemple pour cartographier en temps réel les dégâts de catastrophes naturelles ou liés à des guerres. Google Maps est sans aucun doute le SIG le plus populaire à ce jour. Combinant des fonds de cartes (image satellite ou dessin vectoriel) à des bases de données de lieux (restaurants, magasins,

hôpitaux...) et des observations en temps réel (trafic, travaux sur les routes...), Google Maps a révolutionné la façon dont nous manipulons les cartes au quotidien à tel point qu'il nous est désormais difficile de nous passer de cette application.

Les SIG sont créés à l'aide de logiciels de cartographie dont les plus connus sont ArcGIS et QGIS. Ce dernier offrant l'avantage d'être développé en *Open Source* et d'être gratuit, c'est ce programme qui a été utilisé tout au long de l'opération Grognon, conjointement au système de gestion de bases de données PostgreSQL, également libre et gratuit. Si QGIS permet de représenter de manière graphique les informations géographiques, PostgreSQL stocke et organise toutes les données, spatiales ou descriptives. Ce logiciel offre également la possibilité de créer des requêtes (des recherches) et d'utiliser des fonctions complexes exprimées en langage SQL, un langage informatique largement utilisé et relativement facile d'accès pour des non-spécialistes. PostgreSQL est également l'un des rares gestionnaires de bases de données à pouvoir intégrer des données spatiales, en l'occurrence, pour le cas qui nous occupe, les relevés topographiques et les enregistrements photogrammétriques.

Les ortho-images produites à partir des modèles en trois dimensions et annotées par les archéologues servent à la « mise au net » des relevés des vestiges archéologiques, à savoir leur dessin sur ordinateur en vue de réaliser un plan général du site qui pourra être publié et diffusé via différents médias. L'ortho-image est ainsi mise en arrière-plan et permet de dessiner chaque découverte en détail, pierre par pierre, à la manière d'un dessin sur un calque. Pour les éléments qui n'ont pas fait l'objet d'une photogrammétrie (il n'est pas toujours nécessaire de mettre en œuvre cette technique), ce sont les relevés topographiques qui sont utilisés. Cette étape du travail a été réalisée avec le logiciel AutoCAD ou directement dans QGIS,

pour conserver la justesse des tracés et faciliter leur connexion aux autres données dans le SIG. Tous les dessins sont ensuite compilés dans une base de données finale, comportant les mises au net des structures archéologiques associées aux données descriptives encodées à partir des fiches papier.

Une fois les données brutes entrées dans le SIG, le travail d'interprétation archéologique peut commencer. Chaque mur, chaque fosse, chaque trou de poteau est examiné en regard des éléments auxquels ils sont liés, datation et période chronologique leur sont attribuées, les descriptions sont affinées, entre autres choses. Pour les périodes les plus récentes (du 18^e au 20^e siècles), des plans anciens sont géoréférencés et permettent de « combler les trous » dans les relevés archéologiques. Le dialogue entre sources historiques et sources archéologiques apporte un éclairage nouveau et permet de privilégier ou de rejeter certaines hypothèses d'interprétation. C'est grâce à la combinaison de toutes ces données que seront finalement produits les plans phasés, représentant les différents états du site au fil des siècles, supports indispensables à la présentation des résultats de la fouille.



Fig. 5

Plan général des vestiges au 18^e siècle, reporté sur un plan militaire daté de 1747 © AWaP

Si les missions premières de l'archéologie consistent à découvrir et interpréter les vestiges du passé, il est également nécessaire de diffuser les résultats de ces investigations. Pour être compréhensibles d'un large public, les données doivent souvent être retravaillées et présentées sous des formes plus accessibles. Certains modèles en trois dimensions issus des photogrammétriques ont par exemple été diffusés sur la plateforme Thingiverse, accessible via un simple navigateur Web, et cela parfois dès la phase de terrain, afin que le public puisse suivre à distance l'avancement des travaux.

Grâce aux plans phasés par période et aux données métriques collectées sur le chantier sur les sols de circulation et la roche naturelle, il a été possible de restituer le site en trois dimensions à quatre périodes différentes (préhistorique, gallo-romaine, médiévale et moderne). Pour ce faire, les données altimétriques relatives aux niveaux de sol ont été exportées dans un logiciel de modélisation en trois dimensions, Blender, qui permet grâce à l'un de ses *add-ons* (module à ajouter) de travailler sur des données géoréférencées. Le terrain a été ensuite retravaillé et sculpté à l'aide d'outils spécifiques afin de lui restituer une morphologie scientifiquement plausible pour chacune des époques. Dans un second temps, le plan des structures archéologiques a été projeté sur le terrain et les bâtiments reconstruits dans leurs volumes. Une dernière étape, essentielle, de texturage a « habillé » ces modèles bruts et leur a donné leur caractère réaliste et vivant. Ce sont ces évocations en trois dimensions qui ont servi de base aux fresques réalisées sur l'esplanade et dans le parking du Grognon. Elles donneront lieu à une exploitation en réalité virtuelle dans le NID, espace multimédia en cours d'achèvement au moment d'écrire ces lignes. Les Namurois pourront alors véritablement s'immerger dans ce passé qui leur est cher.

Une archéologie plus rapide grâce aux nouvelles technologies ?

Les méthodologies développées sur le chantier du Grognon constituent un outil précieux pour obtenir des documents métriques de qualité, supports à la fois de l'interprétation et de l'illustration de découvertes archéologiques, mais aussi pour faciliter leur analyse et leur mise en valeur. Il faut néanmoins garder à l'esprit qu'un protocole rigoureux est nécessaire pour mettre en œuvre ces techniques, tant sur le terrain qu'en post-fouille, au risque d'obtenir des résultats erronés ou inexploitable. De plus, grande est la tentation de succomber au chant séducteur des sirènes de la technologie et de se contenter d'enregistrer presque aveuglément les vestiges sans les soumettre à l'examen soigné et critique qu'ils méritent. Par la nature

même de l'archéologie dite « préventive », qui intervient juste avant la destruction inéluctable des sites, les archéologues sont soumis à des contraintes temporelles extrêmement serrées, selon des plannings et des délais tenant rarement compte du temps nécessaire à la compréhension et à l'interprétation approfondies d'un site archéologique voué à disparaître. L'utilisation des techniques modernes de relevés permet certes de s'affranchir de certaines méthodes chronophages et offre de nouvelles possibilités en termes de précision et de facilité d'analyse. Mais ces nouvelles technologies ne dispensent aucunement de l'observation minutieuse des découvertes sur le terrain, de l'étude de leurs liens spatiaux et chronologiques ni de la constante remise en question des interprétations, qui sont les seuls garants d'une préservation intègre et réfléchi de notre passé pour les générations futures.

Bibliographie

BOLO A., COLLADO E., FONT C., HUIJIN G., MAZET S. et RASSAT S., 2011. Le diagnostic archéologique du canal Seine nord Europe : méthodologie pour la mise en place d'un Système d'Informations Archéologiques. *Archéométrie 2011, Programme et résumés, 18^e colloque d'Archéométrie du GMPCA, 11-15 avril 2011, Liège, Belgique* : 328-329.

BOSQUET D. et al., 2020. Namur/Namur : dernières interventions archéologiques au Grognon, lors de la construction du parking. *Chronique de l'archéologie wallonne*, 28 : 248-254.

COLL., 2020. *Entretien : la photogrammétrie, une alliée de l'archéologie préventive*. URL <https://www.inrap.fr/entretien-la-photogrammetrie-une-alliee-de-l-archeologie-preventive-15050>, consulté le 07/03/2022.

DELAUNOIS É. et RITZENTHALER S., 2018. Développement d'un système d'information géographique (SIG) pour le chantier archéologique du Grognon (Namur). *Pré-actes des Journées d'Archéologie en Wallonie* (Rapports, Archéologie 8) : 11-15.

DEVILLERS C., RITZENTHALER S., TIMMERMANS J. et BOSQUET D., 2017. Enregistrement des données spatiales sur le site archéologique du Grognon, *Pré-actes des Journées d'Archéologie en Wallonie* (Rapports, Archéologie 7) : 80-82.

HÉNO R. et CHANDELIER L., 2014. *Numérisation 3D de bâtiments. Cas des édifices remarquables*. ISTE, Londres.

PIROT F., 2004. Glossaire. Systèmes d'information géographique, archéologie et histoire. *Histoire & Mesure*, 19, 3/4 : 421-427.

RODIER X., 2000. *Le système d'information géographique TOTOPI : Topographie de Tours Pré-Industriel*. Tours (Les petits cahiers d'Anatole, 4).

Modéliser l'information archéologique à l'ère du Web sémantique

Muriel VAN RUYMBEKE

Dès l'Antiquité, et peut-être même avant, des individus se sont intéressés au passé. Qu'il soit visible, au travers de traces laissées dans le paysage, ou invisible mais évoqué dans les souvenirs et autres récits, ce monde évanoui a sollicité les esprits curieux. Il ne s'agissait pas encore d'une science, au sens moderne du terme, avec ses protocoles et ses codes. Lorsque Platon, vieillissant, vante l'*ἀρχαιολογία*, il veut donner à voir que la connaissance du passé est une aide précieuse pour comprendre le présent et bâtir l'avenir idéal.

Bien sûr, nous savons que le but de l'archéologie au sens où l'entendait Platon ne visait pas à reconstituer un passé le plus probable possible mais plutôt à participer au monde en devenir et peu importe si cela supposait de prendre quelques libertés avec la réalité. Nous n'en sommes plus là et aujourd'hui l'archéologie est bien une discipline scientifique, composée de concepts, de méthodes, de postures et des inévitables conflits épistémologiques qui les accompagnent. En effet, les pratiques ont beaucoup évolué. Elles ont obéi à des modes, des approches. L'approche historique-culturelle a par exemple été opposée à l'archéologie processuelle, elle-même contestée par la suite par l'approche post-processuelle.

Par-delà ces différences de faire de l'archéologie, la manière de l'exprimer a pourtant peu varié. Du carnet de fouille à la publication définitive en passant

par le rapport de fouille ou les études synthétiques, analytiques, thématiques, les données archéologiques ont longtemps été élaborées et transmises essentiellement par écrit. L'usage de l'informatique a élargi les perspectives scientifiques et désormais l'information archéologique se crée et se transmet différemment. Les données sont à présent modélisées et/ou numérisées. Aujourd'hui, l'archéologie est entrée dans une nouvelle ère, celle de l'archéologie digitale.

L'usage omniprésent de l'informatique se manifeste principalement dans la manière dont on enregistre les données observées et celle dont on les transmet. Au-delà d'un indéniable apport méthodologique, les nouvelles pratiques génèrent cependant de nouveaux écueils. En effet, pour pouvoir profiter de la puissance de l'ordinateur, il est nécessaire de modéliser les données qu'on lui soumet. Mal conduite, cette démarche peut aboutir à un appauvrissement de l'information. En archéologie, le processus de modélisation susceptible d'éviter ce danger ne fait pas encore consensus.

La recherche doctorale qui est présentée ici a consisté à concevoir, tester et finalement proposer de nouvelles pistes de modélisations pour les données archéologiques. Ces propositions tiennent compte des spécificités des données archéologiques. Elles ont également l'avantage de se conformer aux normes du Web sémantique et de son corollaire, les *Linked Open Data*. Leur solidité a été éprouvée en les appliquant

à un corpus riche et consistant, celui des données archéologiques antiques et alto-médiévales de la commune de Theux.

Modélisation

Si l'on observe que les verbes digitaliser, numériser, modéliser, sont régulièrement employés indifféremment l'un pour l'autre, les activités qu'ils désignent sont pourtant à distinguer. On peut certes concéder que les verbes digitaliser et numériser recouvrent pratiquement le même sens, c'est-à-dire que les données initiales sont transformées en une suite de caractères et de nombres. Il n'en va cependant pas de même pour le verbe modéliser.

Dans l'ouvrage qu'il a consacré à la modélisation de l'information en archéologie et en anthropologie, Cesar González-Pérez soutient que modéliser consiste à créer avant tout une représentation mentale de quelque chose : l'horaire de la journée à venir, la liste des courses à faire ou le schéma d'une organisation. Selon C. González-Pérez toujours, un modèle ne l'est que s'il possède trois caractéristiques : s'il représente un objet, s'il le simplifie et s'il permet de raisonner à son propos. En ce sens, les cartes de distribution de sites ou d'artefacts archéologiques sont des modélisations ; les matrices de Harris aussi.

Dans tous les cas de figure, l'opération de modélisation transforme la représentation de l'information originale dans le but d'en obtenir plusieurs avantages. Ceux-ci sont aussi divers et variés que le sont les méthodologies de modélisation. Ainsi, un inventaire établi sous la forme d'une base de données informatique sera beaucoup plus ergonomique à exploiter que le même inventaire établi sur des fiches en papier : en fonction des champs indexés, on pourra le questionner sous de multiples angles, lancer des requêtes combinées et dresser des statistiques.

Le Web sémantique et les données liées (*Linked Open Data*)

La notion de Web sémantique a été conçue et expliquée, à l'entame du 21^e siècle, par Sir Tim Berners-Lee. Cet informaticien britannique également réputé pour être l'un des créateurs, avec notre compatriote Robert Cailliau, du *World Wide Web* a démontré en 2001 l'intérêt qu'il y aurait, dans un monde interconnecté, à décroisser l'information. En effet, bien que les bases de données fussent facilement accessibles grâce à Internet, leur gestion indépendante les isolait les unes des autres. La proposition de T. Berners-Lee reposait sur l'idée que, plutôt que d'enregistrer de multiples reprises les mêmes éléments dans des bases de données différentes, il était plus intéressant d'identifier les concepts redondants et de ne les enregistrer qu'une seule fois. Restait à imaginer et développer un moyen de lier les données entre elles lorsqu'elles étaient en interaction. C'est le concept de données liées, intimement associé à celui du Web sémantique.

En vingt ans, ces propositions ont été adoptées et surtout concrétisées. On observe aujourd'hui une vaste trame de données suffisamment interconnectées pour permettre leur partage, leur échange et, encore mieux, leur exploitation au profit de la découverte de nouvelles connaissances. Ces données liées et ouvertes sont gratuitement accessibles sur le Web, lisibles par les ordinateurs, compréhensibles pour les humains et sémantiquement assemblées. Elles respectent les normes du *World Wide Web Consortium* (W3C) dont en particulier, mais pas uniquement, celles de la représentation RDF (*Resource Description Framework*). Ces normes permettent la création, la publication et la mise en relation de métadonnées et de systèmes d'organisation des connaissances de telle sorte que la signification des termes soit claire à la fois pour les humains mais aussi pour les ordinateurs. Pour décrire la chose brièvement, le Web sémantique repose sur

un tissu de données accessibles à tous (humains et machines) et interopérables. Il permet toutes les requêtes et, de ce fait, favorise la création de nouvelles connaissances.

Modélisation sémantique en archéologie

Cette nouvelle manière de penser et d'utiliser les bases de données et les ressources du Web a rapidement intéressé les professionnels du patrimoine culturel en général. Par exemple, en 2013, Patrick Le Boeuf a écrit à propos des inventaires de musée : « nous attendons autre chose qu'une simple juxtaposition d'inventaires en ligne isolés les uns des autres. Nous souhaitons pouvoir aussi consulter plusieurs inventaires simultanément, resituer un objet patrimonial dans un contexte en voyant les autres objets avec lesquels il est en relation à un titre ou à un autre... » (Le Boeuf, 2013 : 1). Au-delà du monde des catalogues de musées ou de bibliothèques, cette ambition vaut également pour le domaine de l'archéologie qui a grand intérêt à décloisonner les savoirs, les mettre en relation les uns avec les autres, les réutiliser et les faire fructifier.

Pourtant, aujourd'hui, dans le domaine du patrimoine culturel, seuls quelques projets fonctionnent effectivement sur le principe des données ouvertes et liées. Il s'agit de rares catalogues de bibliothèques comme celui de la BNF ou de quelques catalogues de musées comme ceux du British ou du Getty Museum par exemple. On peut également citer les agrégateurs d'objets culturels numérisés comme le méta catalogue européen Europeana.

Ce faible succès s'explique en grande partie par les difficultés rencontrées pour modéliser les données archéologiques d'une part et pour respecter les normes du Web sémantique d'autre part. La difficulté de

modéliser les données archéologiques tient à leur hétérogénéité, que l'on peut décrire comme un agglomérat de composantes spatiale, temporelle et fonctionnelle. La difficulté réside également dans leur imperfection : les données sont souvent incertaines, incomplètes, imprécises, multiples voire contradictoires. L'accord avec les normes du Web sémantique se heurte aux difficultés suivantes : l'archéologie ne connaît pas encore une vraie standardisation. Les vocabulaires et les protocoles utilisés ne font pas consensus au-delà d'un cercle restreint d'utilisateurs. Pire, la notion de données ouvertes et accessibles est loin d'être communément acceptée.

Le modèle MIDM

La première étape de la recherche présentée ici a donné lieu à la création du modèle MIDM (*Multiple Interpretation Data Model*). Construit pour être publié au sein de la communauté archéologique internationale, il a par conséquent dès l'origine été composé en anglais. Cette langue est conservée ici afin d'éviter toute ambiguïté relative aux éléments décrits ou illustrés.

La réflexion a démarré à partir de l'hypothèse suivante : si l'on veut obtenir une modélisation des données archéologiques qui soit viable, il faut pouvoir clairement différencier les faits archéologiques des discours tenus à leur sujet. Il est également nécessaire que le modèle supporte les imperfections des données. Une première phase de conceptualisation a été exécutée. Elle a ensuite été formalisée en UML pour donner le modèle conceptuel MIDM. Il est proposé ci-dessous sous la forme d'un diagramme de classes simplifié, c'est-à-dire présenté sans les attributs. Il est formé de classes liées entre elles soit par des relations structurelles dotées de cardinalités, soit par une dépendance hiérarchique, appelée aussi relation de généralisation. Cet ensemble décrit de manière théorique les éléments constitutifs de l'information archéologique au sens large ainsi que leurs interactions.

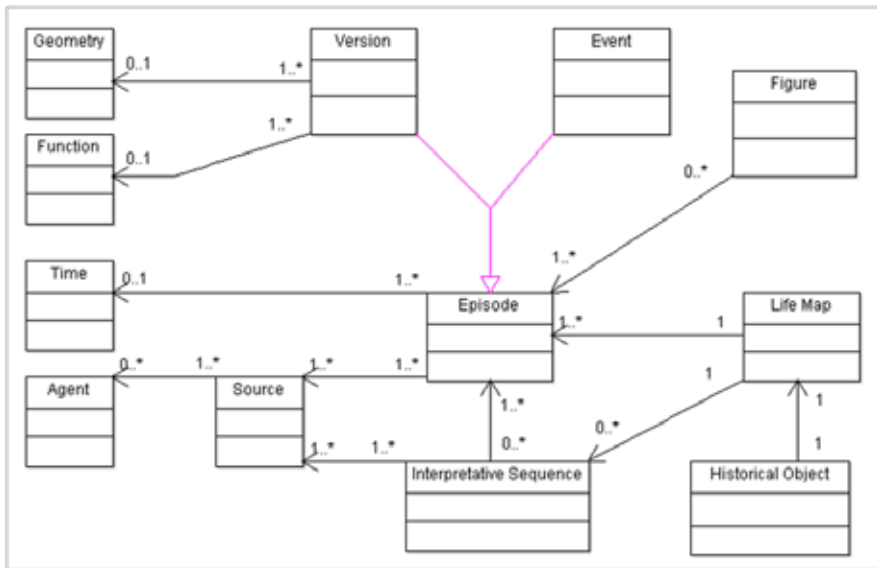


Fig. 1

Le modèle MIDM reprenant en noir les relations structurelles et en fuchsia les relations de généralisation © M. Van Ruymbeke

Le modèle MIDM contient douze classes. La classe de départ est la classe intitulée *Historical Object*. Cet objet peut se définir comme « tout concept ou élément physique, animé ou non, existant, ayant existé ou réputé tel, qui peut éventuellement être composé d'états successifs ». Cet objet, de même que son contexte de vie ne peuvent plus être observés directement de sorte que leurs spatialités, leurs temporalités et leurs fonctions ne peuvent être approchés qu'au moyen d'hypothèses.

Toutes les autres classes du modèle font référence aux hypothèses se référant à l'objet historique. Ces hypothèses concernent la localisation et la géométrie (*Geometry*), la datation (*Time*), la fonction (*Function*), et les sources documentaires (*Source*) qui les étayent. Ces hypothèses peuvent concerner un état de l'objet et l'on parlera d'une *Version* de l'objet, ou un événement (*Event*) l'ayant

impacté. Ces deux classes sont les spécialisations d'une classe plus générale appelée *Episode*. Un épisode peut mettre en scène une ou plusieurs figure(s) historique(s) (*Figure*). Les hypothèses peuvent concerner l'évolution d'un objet et l'on parlera de séquence interprétative (*Interpretative Sequence*). Ces hypothèses ont un ou plusieurs auteur(s) (*Agent*), également présent(s) dans le modèle. Enfin, la carte de vie (*Life Map*) est une classe qui désigne l'ensemble des hypothèses émises à propos d'un objet historique.

L'originalité du modèle MIDM réside dans la création du concept d'épisode, mais également (et même surtout) dans la création du concept de séquence interprétative. Ensemble, ils permettent de bien distinguer les reconstructions interprétatives de la réalité qu'ils décrivent. Le jeu des relations entre ces concepts et leurs cardinalités permet de travailler avec les imperfections des données

archéologiques ainsi qu'avec le maniement d'interprétations multiples. En cela le modèle MIDM, tout en adoptant un certain nombre des propriétés de l'Objet historique tel que défini dans d'autres modèles (comme par exemple dans le modèle OHFET), s'en distancie au niveau de la définition de son identité, puisque le modèle MIDM admet que cet objet change au fil du temps.

Le modèle apparié avec l'ontologie du CIDOC CRM

En principe, un modèle conceptuel n'a d'utilité que s'il peut être implémenté. Dans le cas présent, cette étape a exigé de poser un choix entre l'implémentation sous forme de base de données relationnelle (SQL) ou l'implémentation dans une base de données orientée graphe (*graph-oriented* NoSQL). En tenant non seulement compte de l'émergence scientifique et technique du Web sémantique et des ontologies standardisées, mais également de l'efficacité des bases de données orientées graphe en matière d'exploitation des relations, il a semblé plus judicieux de matérialiser le MIDM en optant pour la deuxième option.

Le fait de travailler avec les ontologies consiste à stocker l'information non pas dans des bases de données comportant des champs liés entre eux, mais dans un système de graphes dans lesquels l'information est décomposée en triplets. Ces triplets sont des petites phrases composées d'un sujet, d'un verbe et d'un objet. Les sujets et les objets sont classés dans des catégories de concepts organisés hiérarchiquement. Les verbes sont classés dans des catégories de propriétés, elles aussi organisées hiérarchiquement, et lient les concepts entre eux.

Restait à sélectionner un langage de métadonnées dédié à la représentation des données culturelles ou patrimoniales. Parmi les rares ontologies culturelles disponibles, le CIDOC CRM et ses extensions compatibles

ont été considérés comme le meilleur choix et ce, pour plusieurs raisons. Tout d'abord, il s'agit de l'ontologie la plus complète en matière de patrimoine puisque si, au départ, elle ciblait presque exclusivement l'information muséale, elle a rapidement étendu son périmètre au patrimoine archéologique, enfoui ou bâti ainsi qu'à la documentation bibliographique.

D'un autre côté, le CIDOC CRM est devenu en 2006 une norme ISO reconnue. Cette norme a été actualisée en 2014 et est actuellement à nouveau en phase de révision. Outre ces révisions officielles, la norme est en réalité amendée et complétée environ tous les trois mois. Le CIDOC CRM est nourri et validé par un grand nombre de chercheurs, mais surtout il est partagé par un assortiment croissant d'utilisateurs. Un certain nombre d'établissements culturels français travaillent à appairer leurs ressources avec les concepts du CIDOC, c'est le cas par exemple du projet Hadoc ou de certaines bases de données archéologiques. Le consortium MASA organise des cursus pour former les archéologues français à son utilisation. Cette popularité, outre son aspect rassurant, procure un argument intéressant en matière d'interopérabilité et d'intégration ultérieures.

Il faut bien reconnaître que l'appariement des concepts définis dans le modèle MIDM avec ceux définis par les ontologies du CIDOC CRM a présenté un certain nombre d'obstacles. L'un d'entre eux, par exemple, a été l'instabilité des ontologies CIDOC CRM. En effet, leurs concepteurs les modifient et les mettent à jour plusieurs fois par an. Comme les modifications d'une version à l'autre sont parfois importantes, il a été nécessaire d'adapter les appariements au fur et à mesure de ces modifications. D'un autre côté, le manque de profondeur et de subtilité des *thesauri* actuels ne permet pas d'exprimer toute la sémantique fonctionnelle associée à un objet avec les nuances désirées. Il faut à ce sujet saluer l'initiative HyperThesau qui vise, notamment, à remédier à cette faiblesse.

Malgré l'abondance de classes et propriétés spatiotemporelles disponibles dans le CIDOC CRM, ce sont les ontologies bien connues GeoSPARQL et Owl-Time qui ont été privilégiées pour l'apparie-

ment des concepts du MIDM de *Geometry* et *Time*. En effet, ces ontologies peuvent être associées à des traitements de raisonnement qui autorisent les requêtes spatiales, temporelles et donc spatio-temporelles.

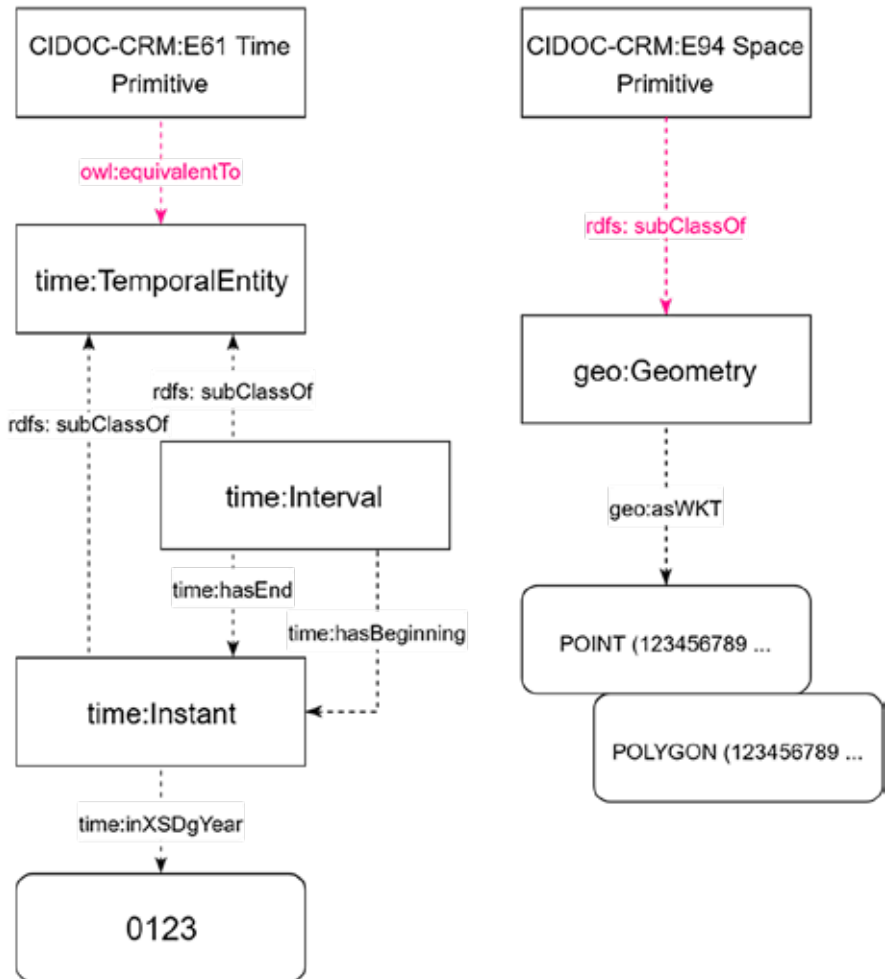


Fig. 2

Liens créés entre le CIDOC CRM, OWL-Time et GeoSPARQL © M. Van Ruymbeke

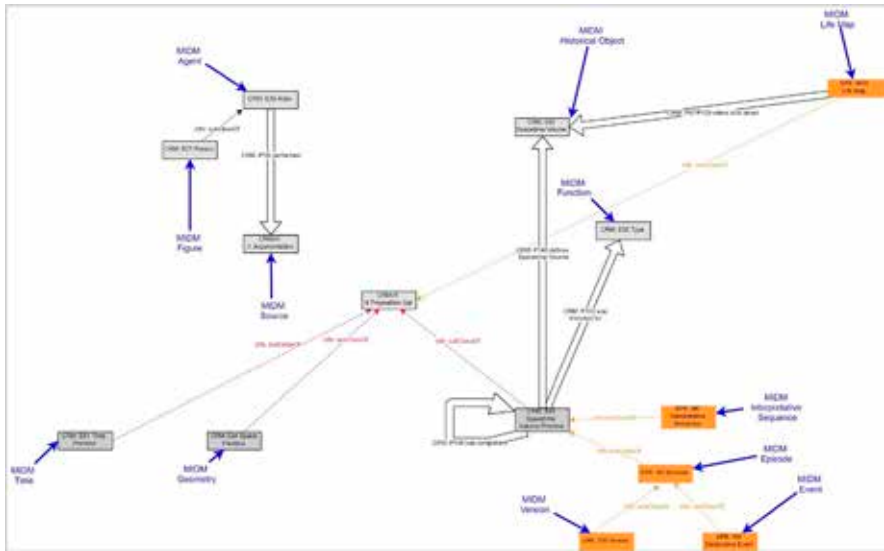


Fig. 3

Appariement des concepts du MIDM (en bleu) vers les classes et propriétés des ontologies du CIDOC (en blanc et gris) selon la cinquième piste d'appariement (les nouvelles classes sont en orange). Les éléments en rose représentent les propositions de modification de dépendance hiérarchiques du CIDOC - CRM 6.2.6. © M. Van Ruymbeke

L'appariement des concepts du MIDM a été réalisé et même en plusieurs exemplaires puisque, compte tenu des changements survenus dans les ontologies du CIDOC, ce ne furent pas moins de cinq pistes d'appariement qui ont été tracées. Chacune d'entre elles a abouti à la création de nouvelles classes et propriétés, afin d'exprimer pleinement les notions d'épisodes, versions et séquences définis dans le MIDM. C'est la dernière des pistes expérimentées qui a été utilisée pour l'instanciation du cas d'étude : les données archéologiques antiques et alto-médiévales de la commune de Theux.

La preuve conceptuelle au moyen des données antiques et alto-médiévales de la commune de Theux

Cette partie du travail a consisté à tester le modèle MIDM implémenté sous forme d'ontologie en le peuplant de données. Délivrant des antiquités depuis le 16^e siècle, fouillée depuis le milieu du 19^e siècle, la commune de Theux se présentait comme un cas d'étude idéal.

Les données archéologiques recueillies sont diverses et variables à tous points de vue. Ce sont des mentions de découvertes fortuites, des rapports de fouilles succincts, des listes d'objets, des lettres manuscrites, mais également des rapports de fouilles détaillés et

une monographie de site. Ces centaines de références n'atteignent pas toutes le même degré d'exactitude ou de précision et leurs affirmations ne sont, en général, plus vérifiables. Elles constituent autant d'hypothèses et d'interprétations se superposant au fil du temps.

La collation et la relecture de cette somme de données a été traitée de la manière suivante : toutes les hypothèses de localisations de tous les sites antiques et alto-médiévaux de la commune de Theux ont été vectorisées et géoréférencées sous forme de points, de lignes ou de polygones dans le logiciel ArcGIS Pro puis transformées en format WKT afin de peupler la base de connaissances. Les hypothèses de restitutions chronologiques ont également été codées en suivant le protocole requis. Les données fonctionnelles ont été exprimées à l'aide des concepts des *thesauri* PACTOLS et PATRIARCHE.

L'ensemble des données archéologiques antiques et alto-médiévales de la commune de Theux, en l'état des connaissances daté de septembre 2020, a été exprimé sous la forme de triplets. Cette phase d'instanciation fut extrêmement longue et fastidieuse à réaliser. Elle était cependant nécessaire pour valider les étapes de conceptualisation précédentes. Elle a permis de vérifier que la piste d'appariement sélectionnée permettait d'exprimer valablement des données réelles. Elle a également rendu possible la mise en évidence de la pertinence du modèle MIDM. Enfin, elle a démontré que l'on pouvait exercer des requêtes spatio-temporelles mais également sémantiques sur l'ensemble d'une information archéologique représentée sous forme d'un graphe de données.

Conclusion

Face aux constantes mutations de notre environnement technologique, il est important d'adapter nos pratiques professionnelles. Il n'est pas un archéologue qui dira le

contraire. Cependant, cette adaptation ne peut se réussir que si elle tient pleinement compte des fondements épistémologiques de notre discipline. Ces piliers scientifiques garantissent la durabilité mais également la valeur de l'archéologie. La recherche brièvement résumée ici a consisté à proposer une approche de modélisation respectueuse de tout ce qui constitue l'archéologie contemporaine. Cette approche a également veillé à tenir compte des besoins à venir principalement en matière d'ouverture et d'interopérabilité des données. Si l'exercice peut paraître extravagant voire intrépide, il doit être perçu comme une invitation à poursuivre activement les recherches et les développements dans le domaine des données ouvertes et liées (*Linked Open Data*) en archéologie.

Merci à Gilles-Antoine Nys pour la relecture attentive et scientifique de cet article.

Bibliographie

BERNERS-LEE T. et HENDLER J., 2011. Publishing on the semantic web. *Nature*, 410, 6832 : 1023-1104.

BERNERS-LEE T., HENDLER J. et LASSILA O., 2011. The Semantic Web. *Scientific American*, mai 2011, vol. 284, 5 : 3443.

BOISSINOT P., 2015. *Qu'est-ce qu'un fait archéologique ?* Paris, École des Hautes Études en Sciences sociales.

DE RUNZ C., 2008. *Imperfection, temps et espace : modélisation, analyse et visualisation dans un SIG archéologique*. Reims, Université de Reims, Champagne-Ardenne.

DJINDJIAN F., 2017. *L'archéologie - Théorie, méthodes et reconstitutions*. Malakoff, Armand Colin (2^e éd.).

DOERR M., BEKIARI C., BRUSEKER G., ORE C.-E., STEAD S. et VELIOS T., 2021. *Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model v7.1.1 (Version v7.1.1)*. The CIDOC Conceptual Reference

Model Special Interest Group. URL <https://doi.org/10.26225/FDZH-X261>

FUSCO G., BERTONCELLO F., CANDAU J., EMMELM K., HUET T., LONGHI C., POINAT S., PRIMON J.-L. et RINAUDO C., 2014. *Faire science avec l'incertitude : réflexions sur la production des connaissances en Sciences Humaines et Sociales*. Nice, Open access Halshs-01166287.

GELE A., 2014. Objet externalisé et objet vecteur de sens. De l'archéologie des périodes modernes à l'archéologie historique, un état de la question. *Europa Moderna. Revue d'histoire et d'iconologie*, vol. 4, 1 : 420.

GESER G., 2016. *Towards a Web of Archaeological Linked Open Data*. Ariadne.

GONZALEZ-PEREZ C., *Information Modelling for Archaeology and Anthropology*, Cham, Springer International Publishing, 2018.

GONZALEZ-PEREZ C., 2018. *Information Modelling for Archaeology and Anthropology*. Cham, Springer International Publishing.

JUANALS B. et MINEL J.-L., 2020. Stratégies éditoriales des musées. Une approche de la médiation par l'accès ouvert aux données numérisées. *Culture & Musées. Muséologie et recherches sur la culture*, juin, 35 : 4975.

LE BOEUF P., 2013. De la sémantique des inventaires aux musées en dialogue : la modélisation CIDOC CRM. *Culture & musées*, 22 : 89111.

MARTIN-RODILLA P. et GONZALEZ-PEREZ C., 2018. *Representing Imprecise and Uncertain Knowledge in Digital Humanities: A Theoretical Framework and ConML Implementation with a Real Case Study*. Salamanca, ACM Press.

MIGLIORINI S., 2018. Enhancing CIDOC-CRM models for GeoSPARQL processing with mapreduce. *Workshop Proceedings, 2230 (2018) : 2nd Workshop On Computing Techniques For Spatio-Temporal Data in Archaeology And Cultural Heritage, Melbourne, Australia [AU]*, 28 août 2018, 2230 : 5165.

NOUVEL B., 2019. Le thésaurus PACTOLS, système de vocabulaire contrôlé et partagé pour l'archéologie. *Archéologies numériques*, 3, 1.

NYS G.-A., VAN RUYMBEKE M. et BILLEN R., 2018. Spatio-temporal reasoning in CIDOC CRM : an hybrid ontology with GeoSPARQL and OWL-Time. *CEUR Workshop Proceedings*, 13 octobre 2018, 2230 : 37-50.

PERRIN E., 2021. Thésaurus et interopérabilité des données archéologiques : le projet HyperThésau. *Humanités numériques*, 2021, 4.

PERRY S. et TAYLOR J.S., 2018. *Theorising the Digital. A call to Action for the Archaeological Community*. Oxford, Archaeopress.

VAN RUYMBEKE M., 2021. *Modéliser l'information archéologique à l'ère du web sémantique - Relecture 2.0 des données archéologiques antiques et alto-médiévales de la commune de Theux (B.)*, Université de Liège, thèse de doctorat non publiée.

VAN RUYMBEKE M., CARRÉ C. et BILLEN R., 2012. L'existant et l'ayant existé. Documenter le patrimoine dans la diachronie. *Thema & Collecta*, 2 : 4251.

VINCENT M.L., LEVY T.E., BENDICHO V.M.L.-M. et IOANNIDES M., 2017. *Heritage and Archaeology in the Digital Age: Acquisition, Curation, and Dissemination of Spatial Cultural Heritage Data*. Springer.

WEIL R., 1959. *L'« archéologie » de Platon*. Paris, C. Klincksieck.

II

LES NOUVELLES TECHNOLOGIES AU SERVICE DES MÉTIERS DU PATRIMOINE

Innovations dans les métiers de la pierre

Sébastien MAINIL

« Le geste naît, se transforme, vit et meurt, renaît, au gré des inventions, des innovations, se retrouve et se reconstitue. Le capital technique de l'artisan doit constamment être ajusté à l'évolution technique, économique et sociale. » (Mille et Petit, 2014 : 44)

A la suite des innovations techniques apportées au cours des deux derniers siècles, une nouvelle révolution industrielle est en cours : l'ère du numérique envahit notre vie quotidienne et professionnelle. Bien qu'étroitement attachés à des traditions ancestrales bien marquées, les métiers de la pierre comme l'ensemble du secteur de la restauration du patrimoine classé ne font pas exception. Ne pas y prêter attention et négliger ces évolutions en les considérant comme une menace peut se révéler dangereux pour l'avenir du secteur. Dans ce contexte, une réponse raisonnée et raisonnable s'impose, en considérant ces avancées technologiques non pas comme des moyens se substituant à l'homme mais bien comme des outils à disposition de la profession permettant d'élargir et d'améliorer l'approche actuelle.

Ces nouvelles technologies appliquées à la préservation et la conservation du patrimoine culturel en pierre peuvent être déclinées en plusieurs champs de compétence tels que la documentation de l'existant, le diagnostic, la production et les traitements conservatoires.

D'une documentation pluridisciplinaire de l'existant performante...

Les contributions précédentes ont décrit les innovations au service de l'enregistrement et de la modélisation. En utilisant ces techniques avancées de traitement de l'information (photogrammétrie, scanner à lumière structurée...), la numérisation 3D assure la création de copies numériques (des « jumeaux ») d'artefacts (de l'objet découvert dans le cadre de fouilles archéologiques jusqu'au site naturel et/ou bâti).

Au-delà du simple relevé géométrique et des exploitations qu'il est susceptible de générer (et présentées plus tard dans cet article), l'imagerie scientifique est devenue un outil incontournable pour les sciences de la conservation et de la restauration. Ainsi, le développement du rendu tridimensionnel qualitatif et quantitatif de l'image fournit un véritable support de documentation doublé d'un outil d'investigation non destructif, complémentaire aux approches physiques et physico-chimiques classiques.



Fig.1

Relevé de la pierre monumentale du Pôle de la pierre par scanner 3D. Le scanner 3D à lumière structurée permet, par la projection d'un motif de lumière sur l'objet à numériser, de recomposer ce dernier en examinant grâce à des capteurs la déformation du motif lumineux et en calculant la distance de chaque point du champ de vision © AWaP

Utilisant ces supports numériques multiples, les recherches liées à l'intelligence artificielle et aux algorithmes d'apprentissage automatique trouvent chaque jour de nouvelles applications concrètes dans le domaine du patrimoine culturel. En effet, le dévelop-

pement de ces méthodes permet d'extraire de l'information à partir d'ensembles de données complexes en prédisant les propriétés des matériaux anciens hétérogènes, leur composition ainsi que leur état de détérioration.

Les données recueillies par les techniques déjà éprouvées et émergentes sont intégrées dans des plateformes collaboratives qui mettent en synergie les résultats, en les combinant, les corrélant, les comparant. Elles permettent de cette façon de mieux mettre en cohérence les observations et les conclusions avec des analyses faites à différentes échelles.

À terme, l'intégration de la dynamique temporelle (données de la conservation/restauration du bien considéré, de son histoire passée...) ainsi que des données environnementales pourraient conduire ces plateformes à devenir de véritables outils d'analyse pluridisciplinaire, comparative, coopérative et de suivi de l'état matériel du bien culturel (et donc de son évolution et de gestion de son entretien) tout autant que de transmission des connaissances vers un public large.

Chaque acteur du patrimoine (archéologue, architecte, ingénieur, spécialiste des matériaux, conservateur et restaurateur, artisan, enseignant, étudiant...) est donc en mesure d'annoter des informations de différentes natures directement sur l'objet, créant ainsi une sorte de « système nerveux numérique », et de suivre l'évolution de l'état de conservation, des dégradations éventuelles ou encore des effets des divers traitements de conservation ou de consolidation.

... à une production automatisée raisonnée

Si les relevés issus de la numérisation en trois dimensions permettent d'étendre leurs potentiels patrimonial et scientifique en termes de documentation, de diagnostic et de monitoring, ils peuvent également être avantageusement utilisés lors de mises en œuvre matérielles.

À partir des principes de la rétroconception (ou rétroingénierie), le traitement du nuage de points ainsi

généralisé permet de réaliser une modélisation géométrique précise de l'objet par la CAO (conception assistée par ordinateur). Il s'agit donc d'un travail « à rebours » du processus de conception original. En partant du résultat final, l'opérateur déconstruit l'objet, effectue des évaluations, des mesures voire des adaptations afin d'obtenir les informations de conception physique pour le reproduire, le modifier voire l'améliorer.

Une fois ce modèle généré informatiquement, un ensemble d'outils de la FAO (fabrication assistée par ordinateur) permet de générer les parcours de l'outil et des axes d'une machine-outil dans le but d'usiner la matière. À l'inverse des imprimantes 3D qui ajoutent de la matière, cette technique est dite « soustractive » car elle va enlever de la matière de façon à donner à la pièce brute la forme et les dimensions voulues via un fichier en trois dimensions et une programmation adéquate de la machine. En plus de la grande qualité et de la précision des produits, cette technologie présente également de nombreux avantages : une plus grande vitesse d'usinage, de meilleurs rendements, des pièces de très grandes dimensions...

Ces dernières décennies ont vu le développement de nombreux matériels et logiciels qui permettent de prendre le contrôle total des machines-outils utilisées pour l'usinage. À l'instar de la filière bois où ces technologies sont aujourd'hui bien établies, le secteur de la pierre n'échappe pas à cette évolution.

En effet, en matière d'industrialisation de l'extraction et de la taille de pierre, la Wallonie a toujours été à la pointe du progrès technique et de la modernité. Cette recherche constante d'innovation peut s'expliquer, d'une manière générale, par l'histoire de son activité industrielle et, de manière plus particulière, par la résistance de ses calcaires aux outils traditionnels. Les entreprises wallonnes ont ainsi été parmi les premières à mettre au point des méthodes de production avancées et à s'équiper d'outils performants (machines d'exhaure, fil



Fig. 2 et 3

Les centres d'usinage cinq axes permettent, grâce au déplacement des outils selon cinq directions différentes (trois axes linéaires x, y et z et les deux axes autour desquels tourne l'outil), d'approcher la pièce dans toutes les directions et de la traiter sur cinq côtés, en une seule opération © GMM - GMT

hélicoïdal, lames et disques diamantés, moulureuses, polisseuses, machines à ciseler automatiques...).

De plus en plus d'entreprises de taille de pierre s'équipent aujourd'hui de débêteuses ou de centres d'usinage cinq axes (voire parfois de robot sculpteur multi-axes). Ces installations automatisées ont recours à un outil (un disque diamanté, une fraise) qui se déplace dans cinq directions différentes correspondant aux trois axes linéaires x, y et z, auxquels s'ajoutent deux axes autour desquels tourne l'outil. Un tel parcours permet d'approcher la pièce dans toutes les directions et de la traiter sur cinq côtés, en une seule opération.

Les possibilités sont infinies. Dès 2010, le sculpteur américain Barry X Ball a conçu une réplique grandeur nature du marbre antique de l'*Hermaphrodite endormi*

conservé au musée du Louvre à Paris. Cette copie a été réalisée en marbre noir de Mazy en utilisant les technologies de pointe de cette époque. La sculpture originelle a été scannée finement, la modélisation du modèle scrupuleusement retouchée afin que tous les défauts disparaissent pour être ensuite usinée à l'aide d'une machine numérique. Les finitions manuelles réalisées *a posteriori* sur la sculpture donnent un contraste intéressant entre le poli du corps et la surface mate du matelas (laissé brut de finition).

Plus récemment, la société coopérative française SNBR (Aube, France), active dans la taille de pierre et la restauration des monuments historiques, a réalisé plusieurs chantiers prestigieux (basilique de la Madeleine à Vézelay, orangerie du château de Versailles, cathédrale de Meaux...) en met-



Fig. 4 et 5

L'Hermaphrodite endormi (musée du Louvre, Paris) est une statue antique représentant Hermaphrodite endormi sur un matelas. Il s'agit d'une œuvre romaine, elle-même copie d'après un original grec du 2^e siècle av. J.-C. Vers 1620, Le Bernin réalise le matelas sur lequel est couchée la statue. En 2010, l'artiste américain Barry X Ball crée sa copie en marbre noir de Mazy à l'aide des technologies numériques © P.-Y. Beaudouin et B. X Ball

tant au point la technique de la greffe numérique. Utilisées depuis le 17^e siècle pour restaurer des marbres antiques, les greffes constituent un moyen

de compléter avec le même matériau un ouvrage dégradé que l'on souhaite rétablir dans sa solidité ou sa compréhension. Une retaille est pratiquée sur la



Fig. 6 et 7

Restauration d'un dais d'ébrasement de l'église Notre-Dame-et-Saint-Loup de Montereau-Faut-Yonne (France). La pierre abîmée est nettoyée puis relevée par technique numérique. Après restitution par DAO (dessin assisté par ordinateur), une pièce neuve est taillée et sculptée avec un revers épousant parfaitement la trace d'arrachement avant d'être fixée à l'existant © SNBR

Pierre à traiter de façon à obtenir une surface plane permettant le scellement d'une partie neuve refaite. Cette opération induit une perte de la matière originelle et la présence de joints réguliers parfois peu esthétiques. La prise numérique d'empreinte (par scanner 3D) des parties cassées des pierres anciennes permet de prendre en considération des formes complexes de la surface de contact puis de modéliser la pièce à remplacer ou à recréer. Les blocs complémentaires neufs sont ensuite taillés ou sculptés. Leurs revers épousent précisément le relief de la surface d'arrachement pour y être fixés. L'opération reste totalement réversible et conserve la quasi-totalité de la matière du monument. L'application des techniques numériques permet dans ce cas non pas de créer de nouvelles manières d'intervenir mais bien d'optimiser des *process* existants

en diminuant la quantité de matière saine à extraire et en maximisant la surface de collage (interface entre l'existant et la greffe parfaitement jointive).

Robotique vs main

Par ces travaux, l'entreprise SNBR démontre clairement que les sciences technologiques (la robotique) et les savoir-faire ancestraux (la main) peuvent coexister et se compléter... à condition que cette union soit réfléchie et bien pesée.

Les machines numériques permettent aux entreprises de réduire la pénibilité au travail et de gagner en compétitivité en apportant des idées et des formes nouvelles,

de nouveaux services, de nouveaux outils bénéfiques pour l'économie. Selon leur degré de maîtrise, elles impliquent un gain de temps, la réduction des coûts de production, la simplification de démarches administratives, l'optimisation de l'organisation du travail et de la gestion quotidienne, l'amélioration de la qualité et des services ou encore la conquête de nouveaux marchés. Les chiffres parlent. Une étude socio-économique du secteur de la pierre en Belgique menée en 2021 par l'Agence wallonne du Patrimoine (AWaP) en collaboration avec le Centre de formation aux métiers de la pierre (Cefomepi) et l'Institut wallon de l'évaluation, de la prospective et de la statistique (IWEPS) montre que plus de la moitié des structures interrogées sont équipées de nouvelles technologies. 42 % des entreprises envisagent même de recruter du personnel dans les trois prochaines années pour répondre aux enjeux d'automatisation et de développement numérique.

La machine reste cependant un outil asservi au cerveau et à la main de l'homme. Sa conduite implique la connaissance approfondie des matériaux pierreux, des outils de coupe. Sa programmation reste longue et complexe, ce qui peut engendrer le risque de perte d'emplois peu qualifiés au profit de profils spécialisés.

Dans le cas particulier d'interventions sur biens à valeur patrimoniale et à plus forte raison sur biens classés, la finition manuelle reste la norme et apporte finesse, subtilité et nuance ainsi que l'intégration et la discrétion nécessaires qui font toute la richesse de ce bâti. D'un point de vue économique, cette finition manuelle est souvent bien plus rentable qu'une finition automatisée, la machine travaille à une vitesse moindre (jusqu'à 60 % de temps en plus qu'une taille manuelle) pour des résultats plus précis.

Dans le cadre d'un cofinancement Feder Union européenne/Wallonie, le Pôle de la pierre à Soignies (l'un des deux centres de formation aux métiers du

patrimoine de l'AWaP) a fait l'acquisition d'outils de relevés numériques (scanner 3D à lumière structurée, imprimante 3D) ainsi que d'une débiteuse numérique cinq axes. Outre la volonté d'offrir aux apprenants une vision complète des possibilités actuelles du travail de la pierre, ce dernier investissement engage une réflexion sur la place des innovations récentes dans le travail de l'artisan conservateur/restaurateur et tailleur de pierre mais aussi au sein des bureaux d'études (architectes et ingénieurs). Comme le signale Charlotte Hubert, architecte en chef des Monuments historiques et ancienne présidente de la Compagnie des Architectes en chef des Monuments historiques (ACMH), « le sens de la démarche est essentiel pour faire évoluer vertueusement les métiers. Il ne faut pas oublier que restaurer, c'est préserver les monuments, mais c'est aussi conserver les savoir-faire, raconter une histoire par le geste ».

Le geste ancestral se transmet, se transforme et s'adapte avec les outils, les évolutions et les innovations que l'homme trouve à sa disposition. Aujourd'hui, il semble plus que jamais vital de réfléchir à comment (ré)humaniser le métier en laissant aux robots les productions en grandes séries et les tâches les plus pénibles, les plus lourdes et les plus chronophages tout en réhabilitant des savoir-faire d'exception, la création et la production personnelles, sources d'épanouissement et de richesse culturelle.

A contrario, les outils fournis par l'intelligence artificielle (dans le cadre d'études préalables, par exemple) constituent un véritable sujet de réflexion qui souvent dépasse la capacité de réflexion humaine. L'expert n'est plus là pour investiguer mais pour apporter de la nuance et de la subtilité dans des analyses très poussées.

Dans les deux cas, les démarches sont collaboratives et ne peuvent être menées à bien que si l'humain fait preuve d'excellence et d'esprit critique.

Bibliographie

BESSAC J.-C., 2020. Souvenirs et réflexions d'un « pierreux » du Sud à propos d'un atelier de restauration à Gand en 1970. *In : Études et Documents du Cercle royal d'Histoire et d'Archéologie d'Ath et de la région*, T. XXXI, *La pierre et les carrières, du Moyen Âge à nos jours*, Maffle : 27-58.

MAY R., GUILLON O., PAMART A. et VALLET J.-M., 2019. Imagerie numérique et conservation-restauration : état de l'art et perspectives. *In Situ – Revue des patrimoines*, 3. URL <http://journals.openedition.org/insitu/21940>.

MOULIN J., 2017. Les greffes par empreintes numériques. *Monumental*, 2017, 1 : 82-85.

MILLE M. et PETIT J., 2014. La vie du geste technique. Approche pluridisciplinaire. *e-Phaïstos*, III, 1 : 43-58.

PETIT J., 2017. *Le geste technique : bilan et perspectives pour les métiers de la pierre*. *In : BOUILLON D., GUILLERME A., MILLE M. et PIERNAS G., 2017. Gestes techniques, techniques du geste*. Ville-neuve d'Ascq, Presses universitaires du Septentrion : 109-128.

SONECOM, 2021. *État des lieux du secteur de la pierre en Belgique, étude socio-économique réalisée pour le compte de l'Agence wallonne du Patrimoine – Direction de la Formation aux métiers du patrimoine, octobre 2021*.

III

UN PATRIMOINE DURABLE ?

Les défis de la durabilité : patrimoine et développement durable. État de la question et perspectives

Thomas DERUYVER

Si, à première vue, les deux termes peuvent paraître antinomiques, on constate un grand nombre de points de convergence dans l'esprit de ces deux matières. De par son essence, le patrimoine est durable : l'énergie dépensée pour la construction est largement compensée par la durée de vie du bâti, les matériaux sont, la plupart du temps, locaux et les constructions tirent le meilleur parti de leur milieu. On peut donc dire que le patrimoine culturel bâti peut contribuer activement à la neutralité climatique en réduisant l'empreinte carbone.

Importance du patrimoine culturel

Tout d'abord, il est clair que le patrimoine culturel, en tant que partie importante de la société, est impliqué dans la lutte contre le changement climatique. Du fait de sa nature, de son comportement thermique

et des valeurs culturelles qu'il véhicule, il doit être considéré comme une partie de la solution plutôt que comme un problème. Le patrimoine représente une base commune pour le développement historique et culturel. Cette valeur, partagée par tous, doit être préservée de toute perte ou dommage irréparable. En effet, sur base d'une volonté de parvenir à des objectifs environnementaux et par l'application de standards uniformes, il existe un risque élevé de créer des pathologies et des dommages irréparables. Ce risque est d'autant plus élevé pour le patrimoine qui ne possède pas de protection spécifique ; ce qui est le cas d'une grande majorité du parc immobilier historique en Europe alors que ce « Petit Patrimoine » est essentiel au caractère de nos villes et de nos agglomérations rurales. Ces bâtiments, en raison de leurs matériaux et de leur construction traditionnelle, sont vulnérables aux modifications potentiellement dommageables qui ne tiennent pas compte de leurs propriétés hygrothermiques.

P-Renewal

La modification des obligations de performance des bâtiments est à la fois une grande opportunité pour assurer l'utilisation durable d'un bâtiment mais présente en même temps un risque de perte des qualités patrimoniales. Lorsqu'on décide d'interventions visant à économiser l'énergie, il est essentiel de définir au préalable les valeurs patrimoniales à préserver. De cette manière, l'équilibre peut être établi entre les gains énergétiques et l'importance du patrimoine. À cette équation s'ajoute ensuite le calcul de l'énergie grise et du temps de retour sur investissement.

Cette approche novatrice du choix des interventions mettant à la fois dans la balance la qualité patrimoniale

d'un bien et le niveau d'exigence en termes d'économie d'énergie a été étudiée dans le cadre d'une recherche menée pendant quatre ans par l'université de Louvain-la-Neuve (UCLouvain) et le Centre scientifique et technique de la construction (CSTC) intitulée *Rénovation énergétique du bâti wallon d'avant-guerre à valeur patrimoniale* ou P-Renewal. Cette étude financée par le Service public wallon Territoire Logement Patrimoine et Énergie (Département de l'Énergie et du Bâtiment durable) est basée sur des études de biens d'intérêt patrimonial (classé et non classé) comme les logements ouvriers du site de Bois-du-Luc à La Louvière, une villa à Mellier, une ferme en long à Enghien... Elle a permis de mettre au point un outil qui guidera les auteurs de projet lors d'interventions économisatrices d'énergie pouvant avoir un impact significatif sur le bien patrimonial.

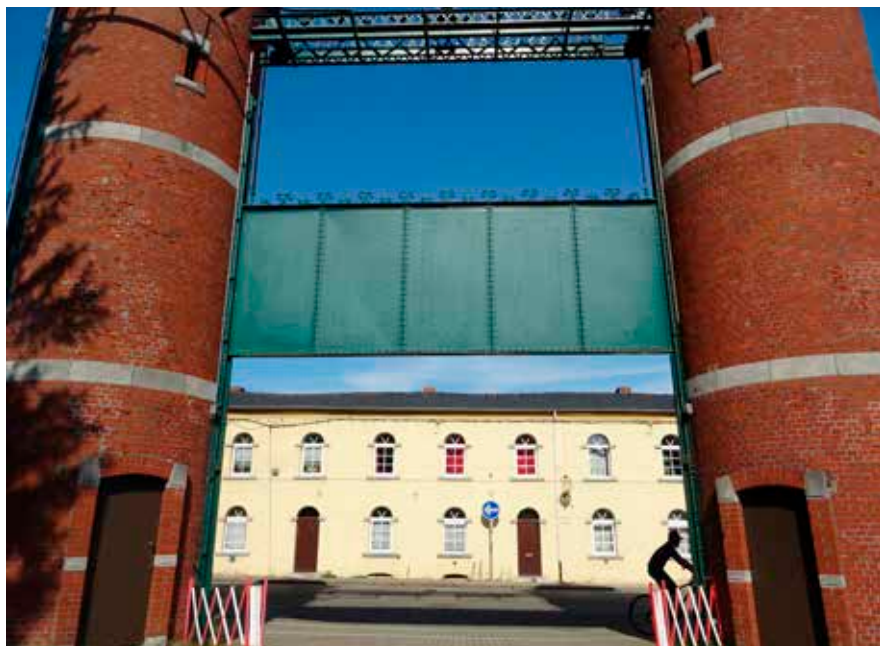


Fig. 1

Habitations ouvrières étudiées dans le cadre de la recherche P-Renewal, Bois-du-Luc, La Louvière, 2020 © AWaP

Ces interventions pourront dès lors être calibrées en fonction des éléments patrimoniaux à conserver et des performances énergétiques à atteindre. Cet outil sera prochainement accessible en ligne. Gageons que ce genre de recherche dédiée à l'étude spécifique du lien entre patrimoine et énergie se développera ces prochaines années, sachant que les thèmes de recherches sont encore vastes : allant du comportement des murs en pans-de-bois en fonction du type de remplissage à l'influence du mortier de chaux dans le comportement hygrothermique des parois.

La spécificité du patrimoine bâti

Il apparaît clairement que le patrimoine bâti, s'il veut s'adapter aux préoccupations environnementales, doit aussi trouver des réponses innovantes à des problématiques qui lui sont propres. Un exemple concret est la question des fenêtres. Les nouvelles constructions sont dotées de profilés standardisés très étanches et très isolants. Par contre, dans les bâtiments existants, on doit composer avec des châssis peu efficaces d'un point de vue énergétique mais qui donnent l'âme de la façade. Dans bien des cas, la suppression des châssis anciens est une catastrophe d'un point de vue patrimonial. L'innovation a mené à des solutions variées permettant de conserver les châssis existants tout en améliorant leur efficacité énergétique. Cela peut passer par la pose de joints engravés dans les menuiseries (entre le dormant et l'ouvrant) pour améliorer l'étanchéité à l'air et limiter la perte de confort à d'autres solutions qui consistent à poser un double châssis si les finitions intérieures le permettent ou encore des vitrages minces isolants. Cette innovation technique a permis de répondre à des situations problématiques où l'on désirait conserver des petits-bois (division du châssis très courante dans les châssis du 18^e siècle) mais où leur épaisseur rendait impossible l'utilisation de double vitrage traditionnel. Le vitrage mince isolant bien qu'onéreux permet de conser-

ver l'authenticité du châssis et de faire un pas vers une amélioration de l'enveloppe du bâtiment.

Dans les spécificités du bâti ancien, il faut noter qu'un atout considérable est l'inertie thermique des maçonneries. Grâce à cette caractéristique, les bâtiments patrimoniaux s'adapteront mieux au réchauffement climatique que les autres bâtiments. En effet, les prévisions indiquent que, dans les années à venir, la demande de refroidissement dans la plupart des régions d'Europe sera bien plus énergivore que les besoins de chauffage. Or, la capacité d'emmagasiner de la chaleur des biens patrimoniaux est une qualité indéniable. Il faut néanmoins être attentif à ne pas perdre cet avantage par une réduction de l'accès à l'inertie thermique lors de l'isolation par l'intérieur.

Évolution des logiciels

Il est également important de souligner que, dans la compréhension et l'étude des bâtiments anciens, il est nécessaire d'utiliser des logiciels de type dynamique qui prennent mieux en compte les spécificités constructives des bâtiments anciens qui sont généralement des constructions perméables à la vapeur, à parois massives (terre, pierre, brique) ou à parois minces (bois). En effet, on constate, dans les résultats sur la performance énergétique, que les calculs de simulation statique (utilisant des valeurs standardisées pour caractériser les parois) donnent des valeurs de dépenses énergétiques entre 10 et 20 % (et parfois 30 %) supérieures aux simulations de calcul dynamique, plus proches de la réalité. Il pourrait donc être important d'obtenir les modèles les plus réalistes possible pour les biens d'intérêt patrimonial afin d'éviter de proposer des travaux inappropriés à ces bâtiments qui pourraient être dommageables pour le bâtiment, la santé et le bien-être de ses occupants en raison d'un microclimat inadapté. Il s'agit sans doute d'un champ de l'innovation à investiguer.

Le colombier fortifié d'Omal, étude de cas

Maître d'ouvrage : Jacques de Pierpont ; auteur de projet : Trio Architecture, Xavier de Pierpont et Sébastien Petit ; suivi de l'AWaP : Marianne Francotte, Daniel Marcolungo et Annie Signorino ; étude archéologique : Virginie Boulez.

Présentation

Le colombier fortifié d'Omal (Geer) est un bâtiment datant de 1625, en brique et pierre calcaire reposant sur un soubassement en moellons en grès et calcaire. Lors du rachat du bâtiment par le propriétaire actuel, la toiture avait disparu et une partie d'un pignon s'était effondrée. Ce bâtiment a une grande valeur patrimoniale. Il permet de comprendre le fonctionnement défensif du site. Il est aussi remarquable par la présence des nombreux trous d'envol dans le pignon, traces de l'ancienne fonction de l'édifice. Le monument est classé par arrêté royal du 26 septembre 1947 et le site par arrêté du 26 juillet 1977.

Le projet

Le projet consiste à restaurer le colombier et lui adjoindre une annexe pour en faire un logement disposant d'un très bon niveau d'isolation. Vu le classement du monument et les qualités patrimoniales des façades, l'isolation par l'extérieur est exclue. Lors de l'étude du projet, une étude archéologique complète a permis des découvertes intéressantes sur le bâtiment, son fonctionnement et son évolution au cours du temps. Les discussions entre le propriétaire, son auteur de projet et l'Administration du patrimoine ont permis d'aboutir à un projet de restauration où l'isolation par l'intérieur constituée d'insufflation de cellulose dans une structure fixée sur la face intérieure des murs est complètement réversible afin de conserver, derrière la structure, les traces archéologiques mises au jour lors de l'étude. D'autre part, les éléments emblématiques de l'édifice, tels que les cheminées et les

trous de pigeons ont été restaurés et maintenus visibles. On a pu ainsi préserver la lisibilité de la fonction première du bâtiment. La toiture a également été largement isolée lorsqu'elle a été refaite. Pour les ouvertures, des châssis alignés sur la nouvelle structure intérieure ont été posés. Ils sont ainsi peu visibles de l'extérieur et permettent de s'adapter aux baies de fenêtre et aux meurtrières. Les objectifs ambitieux d'isolation énergétique ont été atteints, grâce à une attention particulière apportée au traitement des nœuds constructifs et au transfert d'humidité dans les parois, induits par l'isolation de l'intérieur. Des solutions innovantes ont été développées comme l'application d'un enduit mince (genre de gobetis) à base de chaux avant l'application de l'isolation intérieure. La bonne qualité de l'enveloppe est accompagnée d'un système de chauffage durable basé sur une pompe à chaleur fonctionnant par géothermie.

Exemplarité du dossier

Ce chantier est un exemple remarquable de compromis idéal entre conservation du patrimoine et ambition énergétique. Par ailleurs, il faut aussi souligner le côté hors du commun de ce chantier qui a été rendu possible par la concomitance à la fois d'un suivi proche de l'Administration du patrimoine, d'une maîtrise technique du bureau d'études et de la volonté du propriétaire d'aboutir à un projet de grande qualité. Ce cas de figure est assez rare et souligne la nécessité, surtout pour des biens classés de grande valeur, d'avoir un conseil de techniciens de grande qualité, capables de comprendre les spécificités des biens patrimoniaux. Sans cela, il existe un risque réel de mettre en péril l'intégrité du bien par le développement de nouvelles pathologies. L'étanchéification du bâtiment induite lors de l'isolation par l'intérieur ou le remplacement des châssis est une arme à double tranchant. Certes, ces travaux diminuent les dépenses énergétiques et les passages d'air non contrôlés responsables de la perte de confort mais d'un autre



Fig. 2

Colombier d'Omal. G. Focant © SPW-AWaP



Fig. 3

Vue intérieure du rez-de-chaussée depuis l'annexe, colombier d'Omal, 2022 © AWaP

côté, si elle n'est pas parfaitement maîtrisée, l'étanchéification engendre un risque accru de développement de moisissures. Cela peut avoir de lourdes conséquences sur la qualité de l'air mais aussi sur les structures portantes du bâtiment. Il faut aussi prendre en compte le fait que les techniques installées pour le contrôle de l'air (ventilation...) nécessiteront une prise en charge par un technicien qualifié et des coûts annuels qui diminueront d'autant les temps de retour.

Ce chantier est caractérisé par un travail et un contact très proche avec les corps de métier. Ce travail d'orfèvre qui est nécessaire dans ce genre de projet est rendu possible grâce à des artisans conscients des objectifs à atteindre et capables de dialoguer entre eux.



Fig. 4

Vue intérieure du 1^{er} étage et des châssis, colombier d'Omal, 2022 © AWaP

En conclusion, dans le cas de restauration de biens patrimoniaux, il faudra, à l'avenir, développer les études énergétiques pointues étudiant en amont du chantier les points d'attention tels que les nœuds constructifs, l'étanchéité à l'air, les risques de points de rosée, le choix des matériaux... Ces questions doivent absolument être discutées le plus tôt possible, en parallèle des choix patrimoniaux afin d'obtenir un projet cohérent. Cet échange permettra d'éviter les risques pour le bâtiment et de maîtriser le transfert hygrométrique afin de retrouver un nouvel équilibre dans les parois. La ligne de conduite devra être un compromis entre amélioration du confort, maîtrise des coûts énergétiques et garantie de la préservation des qualités patrimoniales.

Ce texte a été rédigé sur base des réflexions de l'OMC *Group on Strengthening Cultural Heritage's Resilience to Climate Change* mandaté par la Commission européenne.

Merci à Marianne Francotte, Jacques de Pierpont et Sébastien Petit.

3

L'INNOVATION

à travers le temps :
le béton armé, « le »
matériau du 20^e siècle



Residence Albert, Marcimelle G. Tocant. © SPW/AMAP

Le patrimoine en béton : typologies et exemples en Wallonie

Bernard ESPION et Michel PROVOST

Commençons par une définition : le « matériau » béton est un mélange de granulats (graviers de rivière ou pierres concassées) et de mortier constitué d'un liant hydraulique (faisant prise avec de l'eau) et de granulats fins ou sables. En durcissant, il devient une « pierre artificielle ».

Le béton est un matériau fort ancien. Le premier ouvrage important le plus souvent cité dans l'histoire du béton est le panthéon d'Agrippa à Rome, terminé en 123 apr. J.-C., sous le règne de l'empereur Hadrien. Il est couvert par une coupole en « béton » de 43 m de diamètre. Dans ce « béton », le liant n'est pas du ciment artificiel comme nous le connaissons aujourd'hui mais de la chaux.

Toutefois, l'histoire « moderne » du béton ne commence que vers le milieu du 19^e siècle, et même vers la fin du siècle pour sa version armée, après l'invention du ciment artificiel, anciennement appelé Portland. La production industrielle de celui-ci ne débute en effet que dans les années 1850 en Europe et seulement en 1872 en Belgique

(à Cronfestu). Dans le Tournaisis, région réputée depuis longtemps pour la production de chaux et de ciment « naturel », l'abandon de la production de ciment naturel au profit du ciment artificiel, de qualité plus régulière, ne se fait même qu'au tout début du 20^e siècle.

Qu'il soit fait à base de liant naturel ou artificiel, le béton se comporte comme une pierre de qualité moyenne à bonne : il résiste bien à la compression mais mal à la traction. Il ne peut donc être utilisé que pour la réalisation d'éléments peu sollicités ou sollicités exclusivement en compression tels des arcs, des voûtes et des éléments verticaux massifs, comme des colonnes et des murs.

Pour compenser cette faible résistance à la traction, on y incorporera des armatures en acier, destinées à « reprendre » les efforts de traction que le béton ne peut supporter : ce sera l'invention du béton armé dont l'histoire ne débute réellement en Belgique – et encore fort timidement – que dans la dernière décennie du 19^e siècle.

L'évolution des ouvrages en béton en sept typologies chronologiques

L'histoire du béton moderne est jalonnée de typologies d'ouvrages qui sont apparues au fur et à mesure de l'évolution de la compréhension du fonctionnement des structures, de la maîtrise de ce matériau et des usages qui en ont été faits. Ces typologies sont liées soit à des aspects structuraux, soit à des aspects technologiques. Nous pouvons distinguer les typologies suivantes :

- avant le béton armé, le béton de masse ;
- les poutres et les colonnes du début du béton armé ;
- les grands arcs en béton armé utilisés dans les bâtiments ;
- les voiles minces en béton armé ;
- les structures en béton précontraint ;
- la préfabrication ;
- le béton architectonique.

Ces typologies se rapportent plutôt à des bâtiments et sont classées par ordre chronologique. Après une description sommaire, nous donnerons quelques éléments expliquant leur apparition ainsi que des exemples d'application remarquables en Wallonie. L'émergence de ces typologies est souvent progressive et elles ne disparaissent jamais totalement. Les périodes de leur plus forte représentation sont renseignées en regard du titre.

Avant le béton armé, le béton de masse

Avant l'apparition du béton armé, il existe deux applications très remarquables de béton non armé (ou béton « de masse ») à signaler – car méconnues – en Wallonie et en Belgique. L'une concerne le génie civil, l'autre le génie militaire.

Citons tout d'abord la construction du tout premier « grand » barrage en Belgique : le barrage de la Gileppe,

construit de 1866 à 1875. Il s'agissait d'un barrage dit « poids » dont la forme était conçue pour n'autoriser aucune contrainte de traction dans le béton. Haut de 47 m, le volume de l'ouvrage de béton était de 260 000 m³. Mais à cette époque, il s'agit d'un béton dont le liant est de la chaux, additionné d'une matière « pouzzolanique » très en vogue à l'époque : le trass de Rhénanie. Pour augmenter la capacité du réservoir d'eau du lac de la Gileppe, le barrage a été surélevé de 17 m entre 1967 et 1970 : le barrage originel en béton a été conservé, mais il est depuis complètement recouvert par des empierrements et donc invisible.

Par contre, on peut encore visiter et explorer les vestiges de la seconde application très importante de constructions en béton non armé du 19^e siècle en Wallonie (et en Belgique) : la construction des forts « de la Meuse » suivant les conceptions du général Henri Alexis Brialmont (1821-1903) : douze forts autour de Liège et neuf autour de Namur, construits entre 1888 et 1891. Le liant hydraulique pour composer le béton de ces forts fut, ici, du ciment artificiel. La construction de chacun de ces forts exigea de 10 000 à 50 000 m³ de béton, soit au total 1100 000 m³ à couler en trois ans, ce qui est à considérer comme un véritable tour de force logistique. On peut ainsi estimer que ceci nécessita la mise en œuvre de pas moins de 300 000 t de ciment en un an et demi, bien au-delà de la capacité de production de ciment artificiel de toutes les cimenteries belges à l'époque ; il fallut donc nécessairement importer du ciment de l'étranger (de France probablement).

Les poutres et les colonnes du début du béton armé (à partir des années 1890)

Les armatures incorporées au béton permettent de réaliser des poutres. Il n'est en effet pas possible de réaliser des poutres en béton non armé : une poutre sollicitée de haut en bas fonctionne en flexion et est le siège de tractions à sa fibre inférieure. Si le matériau dont elle est

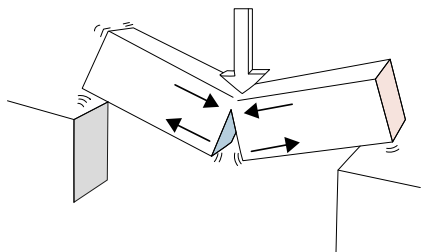


Fig. 1

Infographie : F. Cornélusse © AWaP

constituée ne résiste pas à ces tractions, elle se rompt. Pour réaliser des poutres, il faut donc utiliser du béton armé. Des armatures en acier placées dans les zones qui seront mises en traction lors de la mise en charge compenseront la faible résistance du béton à la traction.

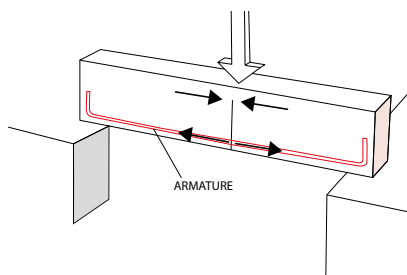


Fig. 2

Infographie : F. Cornélusse © AWaP

L'apparition du béton armé et ses premières applications ont eu lieu en plusieurs endroits simultanément. Il est donc difficile de pointer une personne ou un lieu comme inventeur de cette sorte de béton. La période entre 1850 et 1914 est, en effet, caractérisée par le fait que le béton armé est soumis à de nombreux systèmes commerciaux, protégés et brevetés. Néanmoins, en Belgique,

il a principalement été développé par le Français François Hennebique (1842-1921). Ses premiers ouvrages en béton armé sont souvent désignés en tant que « béton armé système Hennebique ». Ce système est mis au point dans les années 1890 et amélioré ensuite pendant vingt ans. La réussite commerciale de Fr. Hennebique résulte d'une combinaison de facteurs : un système efficace sur le plan structural, une qualité d'exécution de béton coulé en place fiable et méticuleuse ainsi qu'un sens développé des affaires, maîtrisant l'art de la promotion et de la publicité notamment. Le système de Fr. Hennebique comprend un ensemble monolithique formé par des dalles nervurées s'appuyant sur une ossature composée de poutres et de colonnes.

Parmi les exemples les plus remarquables en béton Hennebique en Wallonie, on peut citer l'aile Janson du Palais de Justice de Verviers (1896, architecte : Émile Remouchamps, 1852 - 1927) qui est parmi les premières structures en béton Hennebique (voir p. 95-102) et très probablement une des, si pas la plus ancienne, structures de ce type en Belgique et le stade des Jeux à la citadelle de Namur (1910, architecte : Georges Hobé, 1854-1936) réalisé par le concessionnaire de Hennebique, Maurice Prax, qui, comme nous le verrons ci-après, a également réalisé le pont des Tilleuls et la passerelle Mativa à Liège en 1905.

Le succès des structures en béton armé était alors principalement lié à leur meilleure résistance aux incendies que les structures en métal et bien entendu en bois.

Les poutres en béton armé sont des éléments structuraux fort simples et efficaces mais elles deviennent trop lourdes lorsque leur portée augmente. Pour comprendre cela, ouvrons une parenthèse au sujet de leur fonctionnement structural. La résistance d'une poutre est proportionnelle aux forces de compression et

de traction qui se développent aux fibres supérieure et inférieure de la poutre ainsi qu'à la distance qui les sépare, cette distance étant la hauteur structurale (h_s). Pour augmenter la résistance d'une poutre, il suffit donc d'augmenter sa hauteur structurale.

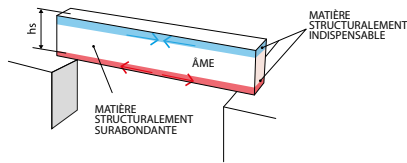


Fig. 3

Infographie : F. Comélusse © AWaP

Ainsi, la hauteur structurale d'une poutre doit croître avec sa portée. Pour de grandes portées, il en résultera une forte augmentation de son poids car la matière structurellement indispensable se limite à celle des fibres supérieure et inférieure. C'est cette raison qui conduira à l'amincissement des âmes. On pourrait, comme en charpenterie métallique, réduire la matière de l'âme en réalisant des poutres en treillis, mais ce serait technologiquement difficile et fort consommateur de main-d'œuvre. Un des principaux moteurs du développement des typologies structurales est la chasse à cette matière non indispensable, source d'une charge inutile.

Les grands arcs de bâtiments en béton armé (vers 1910 jusque dans les années 1930)

Pour les structures de grande portée, une solution pour viser cette réduction de matière et de poids est donnée par les structures en arc dans lesquelles on se limite à la matière structurellement indispensable. C'est l'augmentation de la hauteur structurale, bras de levier interne (h_s), qui augmente la capacité portante de la structure.

Ainsi, à portée et charges égales, l'augmentation de la hauteur de l'arc permet de réduire la quantité de matière nécessaire à sa stabilité. Les bâtisseurs des cathédrales gothiques l'avaient bien compris.

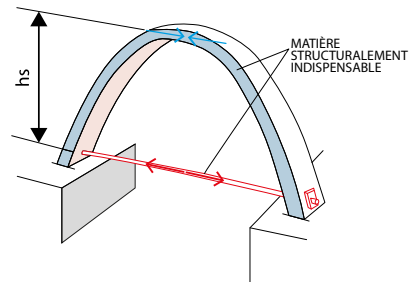


Fig. 4

Infographie : F. Comélusse © AWaP

Sous une couverture à poutres, on est sous la structure. Par contre, avec un arc, on est sous la clé de l'arc, là où s'équilibrent les efforts de compression, et au-dessus de la ligne des poussées de pieds d'arc, on est donc dans la structure. C'est pourquoi, avec un même matériau, à portée et sollicitations égales, l'épaisseur d'un arc est plus faible que la hauteur d'une poutre. La structure en arc est nettement plus performante car sa hauteur structurale est beaucoup plus importante.

Les arcs en béton non armé, puis armé, ont d'abord été utilisés dans les ponts où ils sont issus des arcs en maçonnerie avant leur apparition dans les bâtiments, où leur usage est toutefois resté assez exceptionnel. Comme exemple remarquable quoique relativement tardif, citons les Bains et Thermes de la Sauvenière à Liège, dont l'espace de la piscine, au troisième étage du bâtiment, est couvert sur une longueur de 80 m par une structure en arc en béton armé.

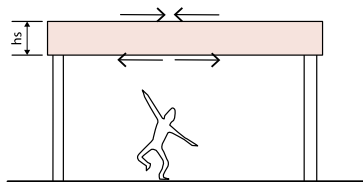
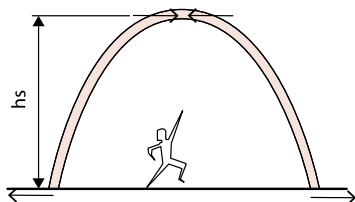


Fig. 5

Infographie : F. Cornélusse © AWaP

Les voiles minces en béton armé (des années 1920 jusqu'au début des années 1970)

Une autre voie vers la légèreté est constituée par les structures en voiles minces en béton armé. Celles-ci sont utilisées pour des couvertures d'espaces. Une voile mince en béton armé est une structure pour laquelle une dimension, son épaisseur, est nettement plus petite que les deux autres. Cette épaisseur est de l'ordre de grandeur de la dizaine de centimètres voire moins. La résistance et la raideur de ces structures sont déterminées par leur forme.

Il y a principalement deux types de structure en voiles minces : les voiles courbes et les voiles plissés ou apparentés.

Les voiles courbes sont des voûtes en berceaux, des coupôles ou des paraboloides hyperboliques qui fonctionnent principalement en arc. Parmi les voûtes en berceau, citons celles de l'usine carbochimique de Tertre (à l'époque UCB/Carbochimique, 1930, réalisation : entreprises Franki avec le système Diwidag) d'une portée libre de 44 m (la hauteur structurale de la voûte est de 14,50 m) et de 160 m de longueur et celles de la brasserie des Alliés à Marchienne-au-Pont (1938, architecte : René Dubois) classée en 1995. La couverture de la salle d'embouteillage d'une

portée libre de 22 m et de 33 m de longueur est raidie extérieurement par des nervures en arc ainsi que la couverture de la cour d'une portée libre également de 22 m et de 40 m de longueur. Dans ce cas, ce sont des voûtes sans nervures mais avec des tirants.

Les voûtes en berceaux permettent la réalisation de couvertures de relativement grandes portées, avec, vu la simple courbure, un coffrage pas trop compliqué. De plus, la faible épaisseur du berceau (aux alentours de 10 cm) conduit à une faible consommation de matière. Ces structures efficaces pour l'époque ont été progressivement remplacées, après la Seconde Guerre mondiale, par des structures en poutres en béton précontraint.

Les structures en double courbure en paraboloides hyperboliques (PH) peuvent sembler plus complexes à réaliser. Il n'en est rien : comme ce sont des surfaces réglées, leur coffrage peut être réalisé au moyen de voliges (planches) droites. Là aussi la faible épaisseur du voile permet de limiter fortement la consommation de matière. Contrairement aux berceaux, les couvertures en PH sont le plus souvent composées d'un ensemble de PH comme, par exemple, l'auvent de la cimenterie des Bastions à Tournai qui est composé d'un ensemble de quatre PH disposés en parapluie inversé et formant un carré de 24 m de côté.

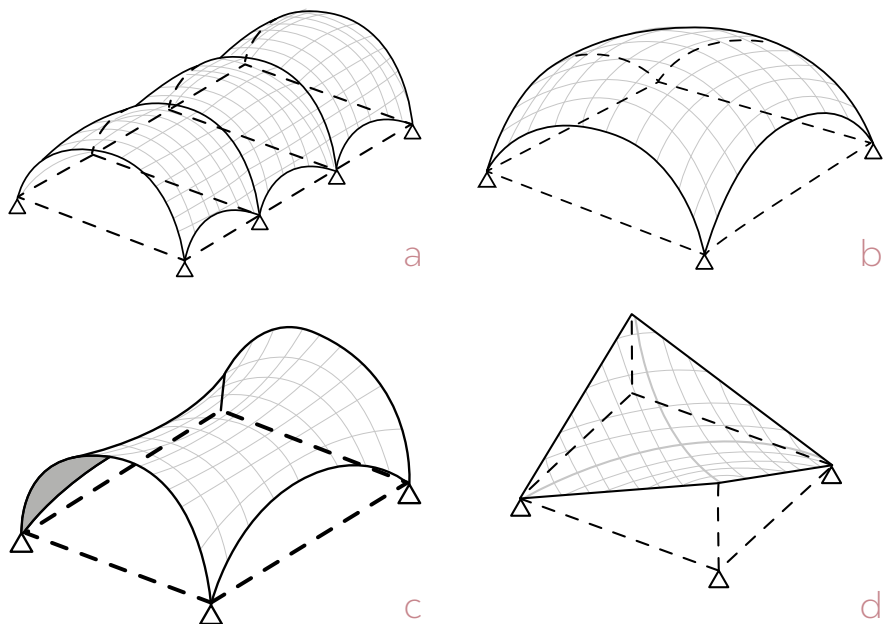


Fig. 6

Voiles minces courbes : voûte en berceau (a), coupole (b) et paraboloides hyperboliques (c-d). Infographie : F. Cornélusse © AWaP

Cet ouvrage très probablement construit en 1958 par Franki pour Obourg, qui était propriétaire de la cimenterie à l'époque, a fait l'objet, lors de son dimensionnement, d'un « essai » sur modèle à l'Université de Liège.

Cet ensemble de PH est appuyé sur une seule colonne centrale. Cette disposition intéressante du point de vue architectural permet d'éviter toutes les colonnes périphériques, ce qui facilite la circulation des véhicules. La couverture de la brasserie de Ghlin (Codibra) est d'une structure de typologie comparable. Elle est constituée de trente-deux « parapluies » carrés de 24 m de côté,

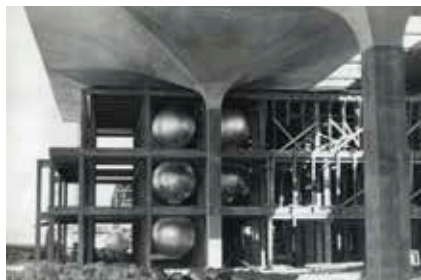


Fig. 7

Couverture de Codibra, Ghlin © Archives Febelcem

mais dans ce cas, les surfaces ne seraient pas des PH mais plutôt des conoïdes, ce qui reste à vérifier.

Les voiles plissés ou apparentés fonctionnent plutôt en poutre ; la poutre est alors obtenue par un plissé plan ou ondulé du voile mince. Les architectes se sont emparés de ce type de structure pour réaliser des structures de grandes portées fortement architecturées. C'est le cas notamment de l'église Saints-Pierre-et-Paul à Droixhe (Liège, 1973, architectes : groupe EGAU, 1940-1992). Dans ce cas, la couverture est réalisée par des voiles plissés de 35 m de portée prenant appui sur d'intéressantes colonnes en V en façade.

Les voiles minces en béton armé sont spatialement et architecturalement fort intéressants mais ils nécessitent des coffrages compliqués très consommateurs de main-d'œuvre. L'augmentation progressive du coût de celle-ci a eu raison de ce type de structure qui a quasi totalement disparu durant la décennie 1970.

Les structures en béton précontraint (à partir de la Seconde Guerre mondiale)

Une troisième voie vers plus de légèreté est le béton précontraint. Dans le cas des poutres, l'idée est de les pré-solliciter pour induire de la compression dans les

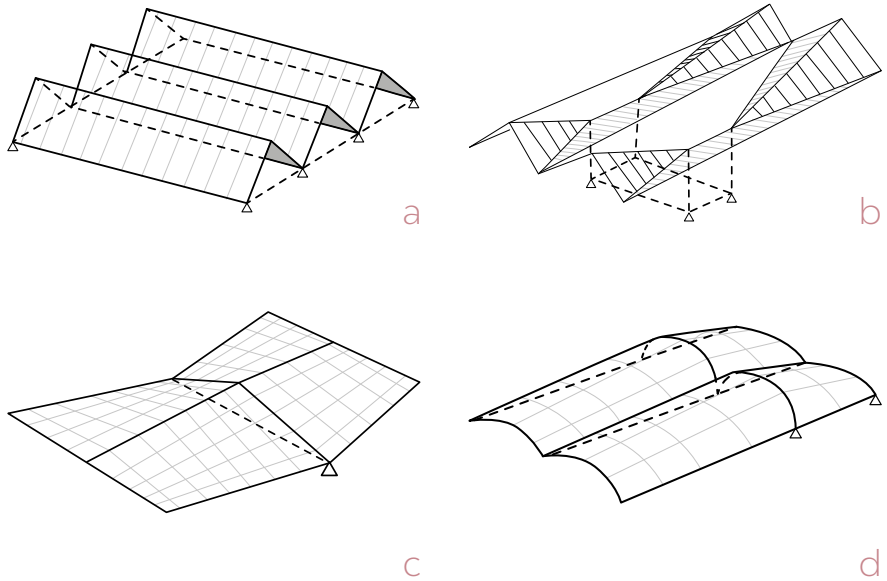


Fig. 8

Voiles minces plissés ou apparentés : plans ou apparentés (a-c) et plissés ondulés (d). Infographie : F. Comélusse © AWaP



Fig. 9

Vue intérieure de l'église Saints-Pierre-et-Paul à Droixhe, Liège © BE-B

zones qui seront mises en traction lors de leur mise en charge. Si cette compression est suffisante, on élimine toute mise en traction du béton et la résistance de la poutre est assurée. Deux techniques de précontrainte sont utilisées. Elles se différencient par le moment de la mise en tension du câble qui pré-sollicitera la poutre :

- la précontrainte par *pre-tensioning*, dans laquelle la poutre est bétonnée autour d'une armature (fils ou torons) prétendue entre des massifs d'ancrage indépendants de la poutre à construire. Lorsque le béton durci a acquis une résistance suffisante, on relâche les forces d'ancrage de cette armature tendue et les efforts de tension initiale de celle-ci sont, par adhérence, reportés sur le béton et le mettent en compression ;
- la précontrainte par *post-tensioning* : dans ce cas, les armatures de précontrainte (câbles composés de fils ou de torons) sont placées dans une gaine disposée dans le coffrage avant bétonnage. Après le coulage et le durcissement du béton, les câbles sont tendus en prenant appui sur les extrémités

de la poutre où ils sont alors ancrés. Les efforts de tension initiale du câble sont ainsi reportés sur le béton et le mettent en compression.

Le plus souvent, en cas de précontrainte par *post-tensioning*, le tracé des câbles est à concavité tournée vers le haut. Lors de sa mise en tension, le câble a tendance à se mettre à l'horizontale, ce qui sollicite la poutre vers le haut et compense une partie de la charge à laquelle elle est soumise.

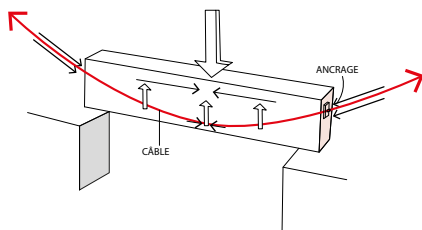


Fig. 10

Infographie : F. Cornélusse © AWaP

La précontrainte a donc un double effet : d'une part la réduction des actions sur la poutre, et d'autre part la mise en compression des zones qui seraient mises en traction lors de sa mise en charge. Les poutres en béton précontraint sont donc plus performantes que celles en béton armé.

La précontrainte s'utilise aujourd'hui dans de nombreux ouvrages, tant des ouvrages d'art que des bâtiments. Il ne faut pas opposer béton armé et béton précontraint : toutes les structures en béton sont en béton armé et certaines d'entre elles sont pré-sollicitées, ce sont les structures en béton précontraint. Initiée juste avant la Seconde Guerre mondiale, cette technique n'a depuis cessé d'évoluer.

Contrairement aux voiles minces, les poutres précontraintes, bien que très efficaces, sont architecturalement peu expressives. Dans le bâtiment, elles sont assez peu utilisées, les portées étant relativement faibles. Leurs domaines de prédilection sont les moyennes portées (salles de spectacle notamment et bâtiments industriels) et surtout les ponts, où ces poutres précontraintes permettent des constructions remarquables comme les ponts de Sclayn et de Wandre dont il sera question plus loin.

Dans la réflexion sur le fonctionnement structural, la réduction de la quantité de béton, et donc également du poids « mort », servait de fil conducteur à ces trois derniers types structuraux. Les typologies suivantes sont plutôt technologiques et architecturales.

La préfabrication (progressivement à partir de la fin de la Seconde Guerre mondiale)

Bien qu'utilisée depuis les débuts du béton armé, la préfabrication s'est développée avec la reconstruction consécutive à la Seconde Guerre mondiale. D'abord partielle, elle est progressivement devenue

quasiment totale. Les avantages de la préfabrication sont multiples. D'une part, une réduction du coût et des délais et, d'autre part, une augmentation de la qualité, la plus grande partie du travail se faisant en atelier à l'abri des intempéries. Dès les années 1960, apparaissent des immeubles où seul le noyau central (N) en voiles de béton armé abritant les circulations verticales et assurant le contreventement de l'immeuble, est réalisé sur chantier. Le reste de la structure, éléments de plancher (hourdis), poutres et colonnes, est composée d'éléments préfabriqués en usine et assemblés sur chantier. Les hourdis sont quasiment systématiquement en béton précontraint par *pre-tensioning*. On peut également noter que la plupart des ponts de moyenne portée sont le plus souvent réalisés au moyen de poutres préfabriquées en béton précontraint par *pre-tensioning*.

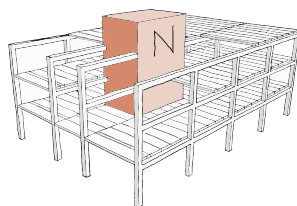


Fig. 11
Infographie : F. Cornélusse © AWaP

Le béton architectonique (important développement durant les décennies 1960 - 1970)

Le niveau de qualité rendu possible par la préfabrication a permis la réalisation d'éléments de façade de belle qualité architecturale. C'est la naissance du béton architectonique. Ces éléments de façade sont soit porteurs et font alors partie de la structure,

soit ne le sont pas. Ils ne sont dans ce cas qu'un « décor » de façade. La préfabrication en atelier permet la réalisation de différents états de surface du béton : lisse, bouchardé, poli...

Parmi les exemples marquants de niveau international, il nous faut citer le siège de la Banque de Bruxelles (devenue BBL puis ING, 1959-1965, architecte : SOM Gordon Bunshaft, 1909-1990) et les anciennes usines Torrington à Nivelles (1963-1978, architecte : Marcel Breuer, 1902-1981).

On peut également citer deux autres exemples fort intéressants en Wallonie, les bâtiments Swift à la Hulpe. Le plus connu est le Swift II (1984-1988) des architectes espagnol et belge, Ricardo Bofill (1939-2022) et Constantin Brodzky (1924-2021). Dans ce cas, le béton architectonique a surtout été utilisé pour réaliser une architecture inspirée des temples grecs. Le Swift I (1980-1983), moins connu et moins spectaculaire, est techniquement et architecturalement au moins, si pas plus, intéressant. Il est l'œuvre de l'architecte C. Brodzky. Dans ce cas, c'est l'assemblage d'éléments architectoniques en béton blanc de relativement faible relief qui constitue la façade.

Le béton architectonique, très présent dans les décennies 1960-1970, n'a pas disparu. Il fait aujourd'hui partie des solutions architecturales qui permettent de marier architecture et structure.

Béton et architecture

Dans le chapitre précédent, l'évolution des typologies structurales et technologiques des ouvrages en béton a été analysée. Ces évolutions ont été possibles au fur et à mesure de la meilleure connaissance de ce matériau, tant pour son calcul que pour sa mise en œuvre.

Très rapidement, les concepteurs et les architectes se sont saisi des potentialités de ce nouveau matériau, d'abord pour des raisons techniques (résistance au feu, plan libre, grandes portées...) et, plus tardivement, pour des raisons d'expression architecturale dont un exemple majeur est, comme nous l'avons vu, le béton architectonique.

Dans un premier temps, ce matériau était le moyen de développer des formes architecturales complexes. Innovations structurale et technologique et relation structure-architecture sont alors fort mêlées. À ce sujet, on peut citer le théâtre Varia à Jumet (1917, architecte : Eugène Claes), classé en 1998, ou le mémorial Interallié sur la colline de Cointe à Liège, érigé de 1928 à 1936 et classé en 2011. Pour ce dernier, le béton en a été un matériau incontournable, notamment pour la construction de la tour haute de 75 m et de l'église (architecte : Joseph Smoldren, 1889-1973). S'y ajoute l'église Saint-Aybert à Bléharies, classée en 1993 (1926, architecte : Henry Lacoste, 1885-1968) qui est la première église en Belgique à structure en béton (mais dans laquelle ce matériau n'est pas encore exprimé), ce qui n'est pas le cas pour l'église Notre-Dame du Travail à Binche-Bray érigée en 1932 selon les plans de l'architecte Henri Balthazar et classée en 2012. Les murs de cette église de style Art déco sont en béton maigre non armé.

Citons également les Bains et Thermes de la Sauvenière à Liège (1938-1942, architecte : Georges Dedoyard, 1897-1988), classés en 2005, remarquable exemple d'innovations structurales (grands arcs de la couverture) et de développement de l'Art déco par la mise au service de l'architecture des potentialités technologiques et structurales du béton armé. Dans ce second ordre d'idée, citons également la résidence Albert à Marcinelle (1938, architecte : Marcel Leborgne, 1898-1978), classée en 2010, immeuble moderniste de neuf étages. Comme mis en avant par Le Corbusier dès les années 1920, le plan libre, les larges baies horizontales, composantes essentielles de l'architecture moderniste, n'ont été possibles que par les capacités structurales du béton armé.

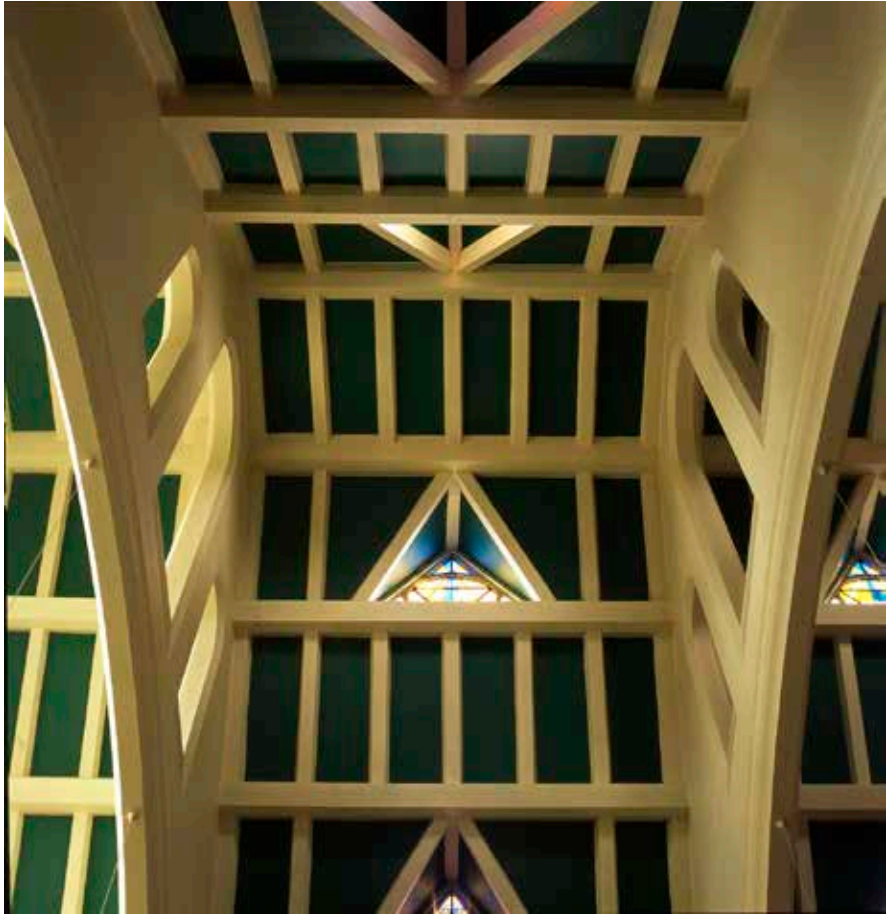


Fig. 12

Vue intérieure de l'église Saint-Aybert, Bléharies © P. De Gobert

Dans les cas précédents, le béton apparent était plutôt un choix technologique qu'architectural. Il n'en est pas de même dans les trois exemples qui suivent. Premièrement, la maison Huberty à La Hulpe (1964, architectes : Jean-Marie Huberty, 1932-2014 et Jacques Gillet, 1931- ; ingénieur : André Paduart, 1914-1985). Dans ce cas, les parois sont en béton voligé apparent et la toiture est en voiles minces en formes de paraboloïdes hyperboliques. À la vue de cette maison, on ne peut s'empêcher d'y voir une parenté avec la flèche du Génie civil (Expo 58, Bruxelles) du même ingénieur. Dans le cas de l'ancienne bibliothèque des Sciences à Louvain-La-Neuve (1973, architecte : André Jacquain, 1921-2014), le Musée L depuis 2017, comme au musée de Mariemont (1975, architecte : Roger Bastin, 1913-1986), deux bâtiments d'architecture brutaliste, c'est le recours au béton apparent, sans nécessité structurale qui donne toute la force à l'architecture et ses lettres de noblesse à ce matériau souvent décrié car utilisé parfois à mauvais escient.

Nous ne voudrions pas clore ce chapitre consacré à la relation entre béton et architecture sans citer la « maison structure » à Angleur (1968, architecte : J. Gillet ; sculpteur : Félix Roulin, 1931- ; ingénieur et architecte : René Greisch, 1929-2000) où le béton a permis les formes totalement libres d'une architecture organique allant jusqu'à un retour à la « caverne ». L'idée est la recherche d'une harmonie entre l'habitat humain et le monde « naturel » en réalisant des œuvres fonctionnant comme des organismes vivants.

Béton et ouvrages d'art

On retrouve bien entendu les mêmes formes structurales de pontage (arc, poutre et chaînette) pour les ponts que pour les ossatures de bâtiments. La chaînette étant exclusivement en traction, elle ne sera pas présente dans l'univers du béton, ce dernier ne résistant qu'aux forces de compression.

Les premiers ponts en béton sont, comme pour les bâtiments, en béton type Hennebique. C'est le cas notamment du pont des Tilleuls à Liège, de 1905, malheureusement démolé sans crier gare en 2020. La portée des poutres primaires y était relativement faible. Pour des portées plus importantes, comme nous l'avons vu ci-avant, la solution « poutre », n'est pas praticable, et on doit s'orienter vers les arcs ou, comme dans le cas de la passerelle Mativa à Liège, vers des solutions « hybrides » au sein desquelles le comportement structural de l'ouvrage est intermédiaire entre la poutre encastree à ses extrémités et l'arc.

Contemporaine de l'ouvrage précédent, construite pour l'Exposition universelle de 1905, la passerelle Mativa, d'une portée de 55 m et classée en 2016 est un ouvrage exceptionnel, bien plus innovant que le pont des Tilleuls. Pour s'en convaincre, il suffit de la comparer au pont de Fagnée construit également dans le cadre de l'Exposition de 1905, qui est en acier et d'une typologie datant du 19^e siècle. Notons en passant que ce dernier a été complètement reconstruit à l'identique après la Seconde Guerre mondiale. La passerelle Mativa et le pont des Tilleuls ont, tous deux, été réalisés par M. Prax, concessionnaire Hennebique en région liégeoise. En se basant notamment sur son expérience liégeoise, Fr. Hennebique a également construit en 1911 le pont du Risorgimento sur le Tibre à Rome qui, avec une portée de 100 m, devint le record mondial des ponts en béton armé.

Pour des ouvrages fonctionnant en arc, on peut également citer comme ouvrage remarquable le viaduc de Renory. Cet ouvrage ferroviaire datant de 1930 est composé de neuf travées en arc en béton non armé de 61,40 m de portée et d'une travée de 34 m de portée. Ces arcs travaillant exclusivement en compression ne nécessitent donc pas d'armatures. Il s'agit d'arcs à trois rotules (deux aux pieds et une à la clé) qui sont des structures isostatiques tout à fait indiquées dans les zones à risques de tassements miniers, ceux-ci n'y

induisant pas d'efforts complémentaires. Dans le cas de ce viaduc, les arcs sont sous le tablier et le supportent. Une autre typologie des ponts en arc sont les ponts *bow-string* (arc-tirant). Dans ce cas, l'arc est au-dessus du tablier et les poutres de rives du tablier sont suspendues à ces arcs, le tablier ou plus spécifiquement ses poutres de rives servant de tirants pour reprendre les poussées horizontales de pieds d'arc. Un ouvrage remarquable de cette typologie est le pont Blanc qui enjambe les voies de chemin de fer à l'extrémité sud de la gare de Mouscron. Il est composé de deux travées *bow-string* de 36 m de portée. Les suspentes sont également en béton armé. Plus larges à leur base, elles sont encastées dans le tablier pour leur permettre d'assurer la stabilité transversale des arcs. Cet ouvrage en béton armé réalisé par les entreprises Monnoyer de Bruxelles est de très belle qualité architecturale Art déco.

Les années après la Seconde Guerre mondiale ont vu apparaître les ponts à poutre en béton précontraint. Après quelques ouvrages isostatiques, à poutres à une travée, est construit le pont de Sclayn sur la Meuse (1949, ingénieur : Alexandre Birguer). Il est composé de deux travées de 62,70 m de portée chacune avec une pile centrale au milieu du fleuve. C'est le premier pont hyperstatique en béton précontraint réalisé en Belgique. La précontrainte est réalisée au moyen de câbles disposés dans le caisson du tablier formant une poutre et est de type « externe » : les câbles, à l'origine de type « sandwich » (Blaton Magnel), ont un tracé rectiligne à l'intérieur du caisson le long de cette poutre à inertie variable. Moins spectaculaire que les ponts en arcs, il s'agit d'un ouvrage exceptionnel, à notre connaissance, le premier pont au monde en béton précontraint de type « poutre continue ». La précontrainte externe appliquée à un pont constituait également en 1949 une première mondiale.

Pour terminer ce bref tour d'horizon de ponts remarquables en béton, on se doit de citer le pont de Wandre

sur la Meuse (1989, architectes : bureau Greisch). Il s'agit d'un pont haubané d'une longueur de 524 m dont la travée principale au-dessus de la Meuse a une portée de 168 m et celle au-dessus du canal Albert une portée de 144 m. Le tablier est composé d'une poutre caisson en béton précontraint suspendue aux haubans. Ce pont a été classé en 1993. Remarquable tant par sa structure que par sa réalisation, grâce à sa mise en lumière, il constitue un signal nocturne dans le paysage de la Meuse en aval de Liège.

Conclusion

Depuis son apparition à la fin du 19^e siècle, le béton armé « moderne » n'a cessé d'évoluer. Il a fait l'objet de multiples innovations. Pour enrichir leur art, les architectes se sont progressivement emparés de ce matériau très « technique » à ses débuts. Au travers de cela, ils lui ont donné ses lettres de noblesse.

Le béton fait encore l'objet aujourd'hui de nombreuses innovations, tel le béton autoplaçant, le béton fibré à ultrahauts performances (BFUHP), le béton Ductal[®] qui a été utilisé pour le MuCEM à Marseille (2013, architecte : Rudy Ricciotti, 1952-). La structure de l'extension du musée de la Boverie à Liège (2016, architectes : Paul-Christian Hauteclerc, 1955- et R. Ricciotti), une salle hypostyle cernée de vingt-et-une élégantes colonnes, est également en BFUHP.

Souvent décrié car souvent mal utilisé, le béton a aujourd'hui trouvé largement sa place de matériau noble à part entière. Les ouvrages remarquables que nous avons cités ci-avant font, soit pour leurs aspects techniques, soit pour les aspects architecturaux, partie de notre patrimoine. La maîtrise toujours plus grande de ce matériau, tant du point de vue du calcul que technologique, en fait aujourd'hui un allié de choix en architecture contemporaine.

Bibliographie

BAES L., 1932. Le béton armé - Quelques notes sur les débuts – Quelques notes actuelles. *Bulletin de la Société belge des Ingénieurs et Industriels*, 7 : 631-711 ; 8 : 743-775 ; 9 : 837-927.

DE KOONING M., DE MEYER R. et BEKERS W. (éd.), 2021. *Hennebique and after: beton in België 1890-2020*. Mechelen, A&D 50 asbl.

DENOËL J.-F., Espion B., Hellebois A. et Provost M. (éd.), 2013. *Histoires de béton armé - Patrimoine, durabilité et innovations*. Bruxelles, Febelcem et FABI.

MOREAU J.-L., 2019. *Construire pour durer - Histoire de l'industrie cimentière belge*. Bruxelles, Febelcem.

PROVOST M., Attas D. et Kemmeter P. (de), 2011. *Comment tout ça tient ? : voyage au pays des structures*. Bruxelles, Alice.

VAN DE VOORDE S., 2011. *Bouwen in Beton in België (1890-1975). Samenspel van kennis, experiment en innovatie*. Universiteit Gent, thèse de doctorat non publiée.

VAN DE VOORDE S., 2012. *Architectonic 1958-1980. Façades en béton*. Bruxelles, fondation Atomium.

Aux origines du béton armé : le Palais de Justice de Verviers, une des premières constructions Hennebique en Belgique

Catherine BAUWENS et Gaëlle DUBOIS

Au 19^e siècle, la ville de Verviers, alors en pleine expansion, voit la naissance de l'un de ses monuments les plus emblématiques, son Palais de Justice. À la suite de l'introduction du système judiciaire « moderne » par l'occupant français dans les régions qui formeront la Belgique dès 1830, les services de la Justice ainsi qu'une prison sont installés dans l'ancien couvent des carmes, à Verviers. L'état du bâtiment, fortement détérioré, incite les autorités provinciales à envisager, dès 1845, la construction concomitante d'un Palais de Justice, d'une prison et d'une caserne de gendarmerie, afin de réunir sur un même terrain trois établissements disposant entre eux d'une connexion immédiate et essentielle. Le projet de construction de la caserne est abandonné, mais celui du Palais de Justice et de la prison se poursuit, porté par l'État belge et la Province de Liège. La Ville, quant à elle, ne peut investir que très faiblement dans le projet. La conception de la prison et du Palais de Justice est confiée à l'éminent architecte bruxellois Joseph Jonas Dumont (1811-1859) et les travaux se déroulent de 1850 à 1853.

En 1885, l'Administration communale de Verviers adresse une plainte au Conseil provincial, requérant la construction de locaux complémentaires et « plus convenables ». Le Palais de Justice de Verviers, trop exigu et insalubre, présente un état préoccupant : la façade souffre notamment de problèmes d'humidité,

issus du mauvais état des chenaux et de la toiture. Trois ans plus tard, l'État décide de bâtir une nouvelle prison sur un autre terrain, permettant la démolition de celle jouxtant le Palais de Justice en 1894. L'agrandissement du bâtiment, voté au Conseil provincial en 1892, est confié à l'architecte provincial, le Liégeois Émile Remouchamps (1852-1927), secondé par son collègue G. Bouny. É. Remouchamps conçoit son projet avec François Hennebique (1842-1921), inventeur de l'une des premières techniques de béton armé. Le projet est déposé en avril 1893 et les travaux sont adjugés en janvier 1896. Un bâtiment richement ornementé est érigé, perpendiculairement au volume initial, auquel il est relié par une tour massive, placée contre le pignon gauche, soit à l'emplacement de l'ancienne prison. À l'opposé, un autre bâtiment est construit dans un style similaire. L'espace intérieur du Palais de Justice de Dumont est entièrement remanié : l'ancienne salle d'audience est transformée en une prestigieuse salle des pas perdus. Les nouvelles constructions, achevées en 1897, sont inaugurées en grande pompe le 25 septembre 1898.

Au fil du temps, la Justice poursuit son développement, augmentant et diversifiant ses tâches. L'édification d'une nouvelle extension débute le 21 septembre 1991, au nord du complexe judiciaire, à l'emplacement de l'ancienne église Saint-Joseph, préalablement démolie

en raison de son état de dégradation. Commandité par la Régie des Bâtiments, le projet est le fruit d'un travail collectif au départ d'un bureau d'architectes liégeois. Le nouveau bâtiment, reliant les deux ailes parallèles édifiées en 1898, est solennellement inauguré le 5 avril 1995.

Les formes de la Justice : éclectisme, élégance et harmonie

Aujourd'hui, le Palais de Justice présente la forme d'un quadrilatère. En son centre, l'ensemble formé par les quatre ailes et la tour, à l'angle des ailes sud et ouest, comporte une cour partiellement occupée par un volume en croix, dont le corps principal est ancré dans l'aile sud et abrite la fameuse salle des pas perdus. Les deux bras de la croix relient, quant à eux, le volume arrière de l'aile ouest, la salle des pas perdus et l'aile est.

L'aile la plus ancienne (1850-1853), construite au sud (place du Palais de Justice) par l'architecte J. Dumont se caractérise par un style plutôt néoclassique. À chaque extrémité, deux niches accueillent respecti-



Fig. 1

Vue aérienne du Palais de Justice en 2011. G. Focant © SPW-AWaP

vement les statues de quatre juristes liégeois : Charles de Méan, Oliver Leclercq, Mathias de Louvrex et Toussaint Dandrimont. À l'origine, celles-ci ont été réalisées en pierre tendre par le sculpteur anversois Guillaume Geefs (1805-1883), mais ont été remplacées par des copies en résine en 1986. Elles font à la fois référence à la Justice et à l'histoire de l'ancienne principauté ecclésiastique de Liège.

Bâtie en pierre calcaire, l'aile Dumont comporte une charpente en bois et une toiture à faible pente en ardoises naturelles. Elle est occupée, au rez-de-chaussée, par un grand hall d'entrée débouchant sur la salle des pas perdus, par des bureaux ainsi que par une partie des locaux de la conciergerie.

L'aile ouest, la tour et l'aile est, érigées à la fin du 19^e siècle en pierre et en brique, démontrent un style d'inspiration éclectique, à tendance néogothique.

La façade de l'aile ouest, donnant sur la rue Paul Janson, est richement ornée et comporte pas moins de trente-sept blasons. Ceux-ci constituent un programme iconographique qui exprime l'identité de l'arrondissement judiciaire de Verviers, en illustrant les activités de ses principales agglomérations (Aubel, Limbourg, Spa, Stavelot, Verviers-ville, Dison, Herve, Petit Rechain, Theux). Au centre de la façade, un avant-corps marque l'entrée monumentale précédée d'une volée d'escaliers comme il est d'usage dans les Palais de Justice construits, en particulier, au cours du 19^e et au début du 20^e siècles. Celle-ci est par ailleurs encadrée par deux culs-de-lampe, sur lesquels reposent des dauphins en ronde-bosse. Symboles de sagesse et de prudence, les dauphins évoquent aussi l'évolution spirituelle nécessaire à l'individu pour accéder à la Justice. La toiture, aujourd'hui démontée, présentait deux versants à forte inclinaison, comme en témoignent les pignons encore en élévation. Au centre, les deux versants étaient interpénétrés par un volume de toiture à croupe, en ressaut, surplombant l'avant-corps

central, qui était autrefois couronné d'un lanternon. Sur le versant orienté vers la rue, sept lucarnes à gâble, d'inspiration gothique, surplombent les travées principales de la façade. La lucarne surmontant l'avant-corps central était flanquée de deux lions maintenant chacun un bouclier, l'un muni de l'inscription « Lex » (la loi) et l'autre, de l'inscription « Jus » (le droit). L'aile Janson comporte, outre des bureaux, quatre grandes salles d'audience, dont les plus prestigieuses, situées au premier étage (traditionnel « bel étage »), ont aujourd'hui été déconstruites. Au rez-de-chaussée et au premier étage, un hall d'entrée monumental, couramment qualifié de « petite salle des pas perdus », prend place dans l'avant-corps central et ouvre l'accès aux deux salles d'audience, installées de part et d'autre.

La tour (place du Palais de Justice/rue Paul Janson) est également décorée de blasons. Elle présente, sur ses faces ouest et sud, le cadran d'une horloge. Les deux cadrans sont chacun encadrés par deux aigles, symboles de la puissance de la Justice qui récompense et qui punit. La tour est surmontée d'une toiture en pavillon et couronnée par une girouette en fer forgé. Elle abrite des bureaux et, dans les combles, le mécanisme de l'horloge.

La façade de l'aile est, donnant sur la rue du Tribunal, présente deux avant-corps d'entrée en léger ressaut. Ceux-ci sont chacun couverts par une toiture à double versant, s'élevant perpendiculairement à la toiture du volume principal (fronton-pignon), également à double versant.

À son extrémité nord, la façade comporte un portail d'entrée monumental, par lequel les détenus pénétraient dans l'enceinte du Palais de Justice. Une succession de petites baies, protégées par des barreaux en fer, ainsi que quatre merlons munis de meurtrières, rappelant l'architecture castrale, complètent le portail. L'aile orientale est d'une hauteur inférieure à son ho-

mologue ouest et plus sobrement décorée. Elle est occupée par de nombreux bureaux.

Le bâtiment au nord, construit presque 150 ans après le premier, présente une tout autre physionomie. Érigé en brique et pierre dans un style d'influence postmoderniste, il complète l'ensemble architectural avec une certaine harmonie, grâce à de hautes travées en plein cintre qui font écho à celles rythmant les façades des trois autres ailes. À l'angle est de l'aile, quatre niches accueillent des statues en métal non-figuratives, créées dans les années 1980 par le sculpteur Serge Gangolf (1943-). Un grand hall d'entrée donne accès à plusieurs salles d'audience et bureaux, répartis sur trois étages.

Au centre de l'ensemble architectural, la salle des pas perdus s'élève sur deux niveaux. Un escalier monumental donne accès à l'étage, ouvert en son centre sur le rez-de-chaussée, ce qui permet d'entrevoir, depuis ce dernier, l'élégant plafond constitué de voûtes à croisée d'ogives. Celles-ci sont ornées d'un décor végétal, composé de rinceaux dont les couleurs dominantes sont le vert et le rouge. Elles reposent sur des culs-de-lampe richement ornements, se terminant par des visages végétalisés. Les tribunes du premier étage sont, à l'instar de l'escalier, délimitées par un garde-corps en fer forgé peint en vert foncé, avec des touches d'or, et reposent sur de massives colonnes et consoles, également d'inspiration végétale. L'étage est éclairé par de gracieux vitraux. Le plus remarquable, situé en haut de la première volée d'escaliers, représente une allégorie de la Justice, avec ses attributs et plusieurs blasons se référant à l'arrondissement judiciaire.

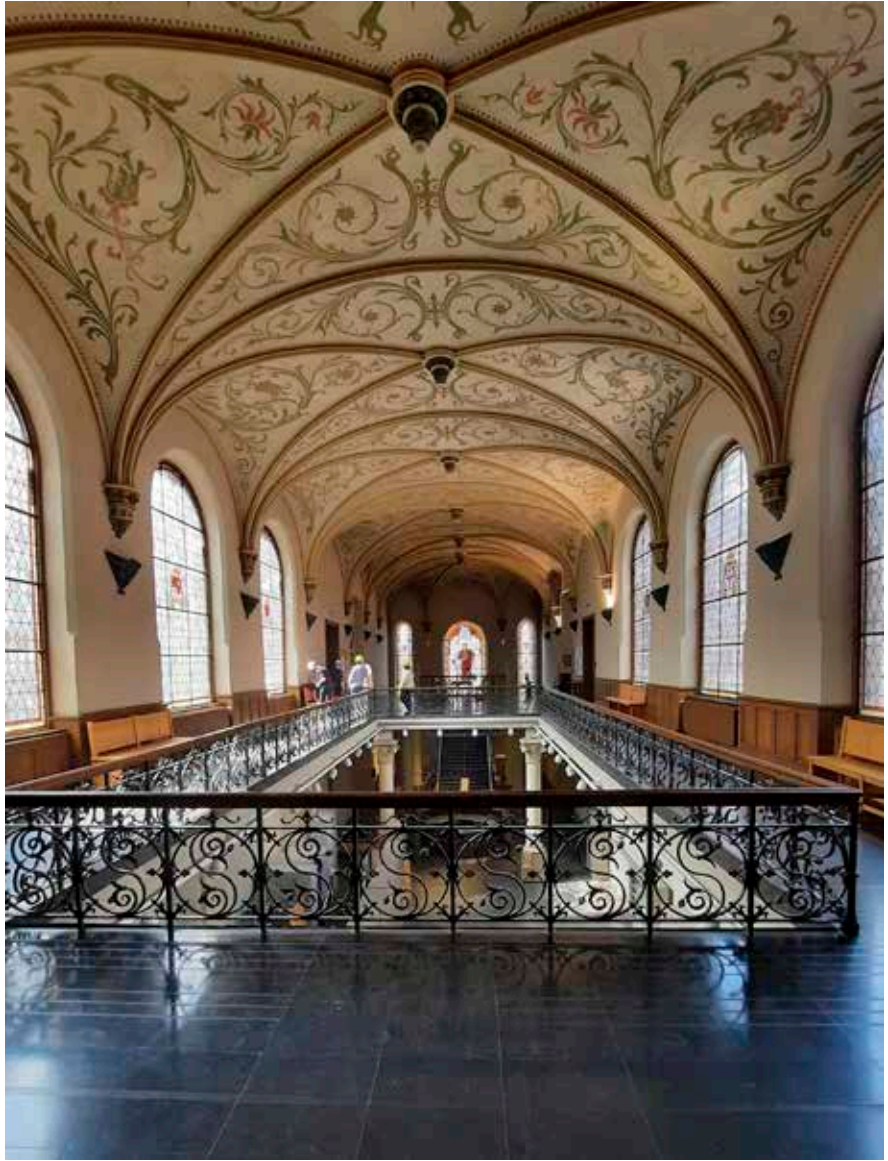


Fig. 2

Salle des pas perdus © AWaP

Une utilisation précoce du béton armé

Depuis 1850, le Palais de Justice s'est progressivement étendu et a fait l'objet de plusieurs opérations de conservation et de restauration. Aujourd'hui, il est le sujet d'une nouvelle campagne de travaux, menée par la Régie des Bâtiments. Faisant suite à la demande d'un permis de déconstruction pour cause d'instabilité, la façade de l'aile Janson a été solidement étançonnée et de nombreuses structures ont été démolies du premier étage jusqu'au faite de l'aile ouest : toiture, combles et premier étage, dont seule la dalle de sol a été conservée. Un suivi archéologique de ces démolitions a été réalisé en 2021 par l'AWaP. Celui-ci a permis la « redécouverte » du système Hennebique, appliqué pour les transformations et l'agrandissement d'É. Remouchamps. À tort, ces structures avaient auparavant été considérées comme des reconstructions réalisées à la suite d'un incendie du bâtiment pendant l'occupation allemande,

lors de la Seconde Guerre mondiale. Avant leur disparition, les éléments à démolir ont été enregistrés *in extremis* à l'aide d'un scanner 3D. Des carottages et prélèvements sont en cours d'étude et viendront compléter les observations et l'analyse des bâtiments.

Ce qui confère un caractère particulièrement novateur au Palais de Justice de Verviers, c'est l'utilisation massive et précoce du béton armé dans les travaux d'agrandissement entrepris à la fin du 19^e siècle par l'architecte É. Remouchamps. En effet, ce dernier abandonne le bois pour les structures de la charpente, les poutres et les planchers au profit d'un matériau nouveau imaginé pour sa résistance au feu, le béton armé. Il travaille alors en étroite collaboration avec Fr. Hennebique, pionnier français du béton armé, qui débute ses travaux en Belgique dans les années 1890 et dont l'entreprise connaîtra par la suite une renommée internationale. Le Palais de Justice fait partie des premiers projets d'envergure de la firme Hennebique.



Fig. 3

Scan 3D de l'intérieur de l'aile ouest. Élévation nord/sud (enregistrement, topographie, traitement des données : V. Ancion, J.-N. Anslin, B. Raskin, F. Taideman) © AWA

C'est en 1894, soit deux ans après le dépôt de son premier brevet significatif et trois ans avant le déménagement du siège de son entreprise de Bruxelles à Paris, que Fr. Hennebique conçoit les plans des éléments en béton du Palais de Justice. Cette date est mentionnée par Fr. Hennebique dans son discours en janvier 1899 lors du troisième congrès du Béton de Ciment armé, publié dans sa revue *Le Béton armé*. Il avait l'habitude de numéroter ses projets et comme il l'explique : « Je n'avais pas voulu donner le n° 1 à mon premier travail, j'avais commencé au n° 51. Le Palais de Justice avait le n° 90 ou 91. Les premiers numéros étaient des essais. M. Remouchamps avait pris lui-même la peine de faire des expériences et nous avait confié quelques planchers d'essai, parmi lesquels ceux de son hôtel particulier. Si nous n'avons pas bâti le Palais de Justice en 1894, c'est que les lenteurs administratives nous ont menés en 1895 et 1896 ». Fr. Hennebique présente l'architecte É. Remouchamps comme son ami et le premier parrain du système Hennebique en Belgique.

Le système Hennebique comprenant piliers, poutres (primaires et secondaires) et dalles est employé pour les structures porteuses internes du Palais. Il s'intègre aux murs gouttereaux, de refend et pignons élevés en brique et pierre. Si les premières réalisations d'Hennebique sont des dalles, poutres et colonnes, pour le Palais de Justice de Verviers, il conçoit également des charpentes. Celle de l'aile Janson s'apparente à une charpente à fermes et pannes traditionnelle. Elle abrite un comble à surcroît sur deux niveaux éclairés par des lucarnes. Tout le support de la couverture en ardoise est également en ciment armé d'une dizaine de centimètres d'épaisseur.

Hormis dans les caves et le dernier niveau des combles, le béton armé des structures du Palais de Justice est rendu « invisible » ; il est traité de façon à être confondu avec des structures en bois. En effet,



Fig. 4

Charpente de l'aile Janson en cours de démolition © AWaP

les arêtes des piliers, des consoles triangulaires, des poutres et des solives sont biseautées comme dans la construction en bois soignée. Ces chanfreins qui s'arrêtent au droit des jonctions imitent à s'y méprendre les assemblages de bois. La réalisation de ces détails décoratifs épargne certes un peu de matière mais complexifie les coffrages.

Les structures en béton armé sont également dissimulées sous un enduit. Dans de nombreuses salles, les poutres et les solives portent des stucs aux décors variés couverts pour certains de peintures faux bois en trompe-l'œil. Le béton armé, ce matériau nouveau qui permettra au 20^e siècle toutes les audaces, est ici clairement masqué et traité de façon à correspondre à une architecture traditionnelle connue.



Fig. 5

Plafond d'une salle d'audience du premier étage, aujourd'hui disparu : détail d'une poutre et de solives en béton armé couvertes de stucs et peinture en faux bois. © AWaP

Afin, probablement, de démontrer les qualités de ce nouveau matériau, des expériences de résistance prévues au cahier des charges ont été réalisées pendant les travaux. Annoncées par voie de presse une semaine avant leur réalisation, elles se sont déroulées fin septembre 1896 et sont relatées dans le journal *La Meuse* : « [...] Au point de vue de la solidité et de la rigidité des planchers ainsi établis, les expériences faites jeudi à Verviers ont été absolument concluantes. Ces épreuves de réception ont eu lieu en présence d'un public nombreux composé en grande partie de gens du métier : ingénieurs, architectes, industriels, qui avaient répondu à l'invitation des entrepreneurs M.M Baar et Watrin, et qui ont suivi les expériences avec le plus vif intérêt. [...] Les épreuves ont eu lieu sous la direction de M. Remouchamps, architecte provincial, assisté de M. Sinet [architecte de la Ville qui utilisera des structures Hennebique à l'école de Musique de Verviers], en présence des entrepreneurs [...] et de M. Hennebique, inventeur du système de ciment armé. D'après le cahier des charges de l'entreprise, les planchers devaient être soumis à deux épreuves ; les planchers ordinaires avaient à supporter une charge de 300 kilogrammes par mètre carré et de 450 kilog. après vingt quatre heures. Pour les planchers des salles d'audience, la charge

devait être de 500 kilogr. par mètre carré, portée à 750 kilogrammes après vingt quatre heures. [...] M. Hennebique n'a pas voulu profiter du délai de vingt quatre heures qui lui était accordé et l'expérience s'est faite à charge complète. Elle a été décisive ; la flexion n'a pas même été de deux millimètres, c'est-à-dire beaucoup en dessous de la tolérance donnée par le cahier des charges ». Après les épreuves, Fr. Hennebique invitait le public dans une salle d'audience à venir l'écouter exposer son système. Ces expériences qui suscitaient une attraction certaine ne manquaient pas de participer à la publicité de la firme Hennebique.

Innovation et particularité

Le Palais de Justice représente un joyau d'architecture, réunissant de manière harmonieuse des ouvrages d'époques différentes. On observe un programme décoratif élaboré, élégant et de belle facture, en particulier dans la magnifique salle des pas perdus. Le bâtiment présente un style et un décor fort peu communs pour un Palais de Justice, d'ordinaire d'inspiration plus classiciste et dépouillé de références à la vie ou au passé local. Le choix d'un langage de tendance néogothique, plutôt réservé à l'architecture religieuse, érige le Palais de Justice de Verviers comme une cathédrale dans la ville. À l'instar des premiers édifices gothiques, celle-ci met ici en œuvre une technique innovante, qui fera de nombreux émules : le béton armé, selon le système de Fr. Hennebique.

À l'aube du 20^e siècle, le Palais de Justice de Verviers est reconnu et les plans de plusieurs de ses structures seront publiés comme exemple en 1902 dans l'ouvrage de Paul Christophe (1870-1957) qui fera longtemps référence dans le domaine du béton armé. Lors de ses récents travaux de recherche sur les ouvrages en béton armé anciens à Bruxelles, Armande Hellebois a clairement mis en évidence l'importance d'étudier ces bétons de

première génération afin de permettre une restauration et une conservation pertinente de ce patrimoine souvent méconnu. Si, au Palais de Justice de Verviers, une partie significative des structures Hennebique a depuis peu disparu, il en reste néanmoins dans la tour, dans l'aile est et dans la salle des pas perdus. Ces bâtiments

recèlent encore un potentiel important à explorer, notamment dans l'application du système Hennebique à d'autres volumes et typologies de toiture. Leur étude et leur préservation s'avèrent en outre précieuses, car elles constituent encore un témoin majeur pour l'histoire de l'évolution des techniques et l'histoire de l'architecture.

Bibliographie

Agence wallonne du Patrimoine, 2022. *Inventaire du patrimoine immobilier culturel*, Fiche n° 63079-INV-0116-01, http://lampspw.wallonie.be/dgo4/site_ipic, consulté le 01/04/2022.

Bauwens C., 1996. Le patrimoine civil public de la région verviétoise. *Portraits et Profils*, 5 : 141-146.

CHRISTOPHE P., 1902. *Le béton armé et ses applications*. Paris, C. Béranger.

DENOËL J.-F., ESPION B., HELLEBOIS A. et PROVOST M., 2013. *Histoires de béton armé – Patrimoine, durabilité et innovations*. Bruxelles, Febelcem et FABI.

ESPION B., 2019. La renommée internationale de la Belgique dans l'histoire du béton : Blaton, Christophe, Franki, Hennebique, Maignel et les autres... *Bruxelles Patrimoines*, 2019, 30 : 14-27.

HELLEBOIS A. et ESPION B., 2011. Réflexions sur la conservation des premières constructions en béton armé (1880-1914). *Les Nouvelles du Patrimoine*, 2011, 132 : 11-14.

Le Béton armé, 1899, 9.

PROVOST M., 2019. Les ouvrages en béton en huit typologies chronologiques. Petite histoire de la technique du béton. *Bruxelles Patrimoines*, 2019, 30 : 6-13.

Le pont Mativa, de conception Hennebique : historique et description

Olivier CARLY

Le pont Mativa, nommé aussi passerelle Hennebique du nom de son concepteur, est situé à Liège. Il relie le parc de la Boverie, situé sur une île de la Meuse, au quai Mativa, et donc au quartier des Vennes, en enjambant la dérivation de l'Ourthe un peu en aval du confluent Ourthe-Meuse. C'est l'un des tout premiers ponts réalisés en béton armé, et probablement le plus ancien conservé en Wallonie, étant l'un des seuls à avoir échappé à toutes les destructions de ponts qui ont eu lieu lors des deux conflits mondiaux.

Il fut créé pour l'Exposition universelle de Liège de 1905. À cette époque, il permettait aux visiteurs de transiter du quartier des Palais, installé dans le parc de la Boverie, vers la plaine des Vennes transformée en quartier des Halls et des Jardins.



Fig. 1

Le pont Mativa, Liège, 1905 © D.R.

Numéroté 23.095 au catalogue de la firme Hennebique, le pont Mativa a été érigé par un certain Maurice Prax, concessionnaire du système Hennebique en région liégeoise. L'article paru dans la revue *Le Béton armé* en juin 1905, relatant les prouesses techniques de la construction du pont Mativa, se résume de la manière suivante : ce pont a été commandé à la société le 9 décembre 1904. L'exécution du pont a été menée très rapidement, malgré la mauvaise saison. Il faut dire que l'ouverture de l'Exposition se rapprochait à grands pas. Les fondations ont débuté dès le 16 décembre 1904. Le boisage fut achevé le 20 janvier 1905, malgré une forte crue. L'ouvrage fut terminé le 20 mars 1905, soit trois mois seulement après le début des travaux. Il ne restait plus alors que les trottoirs à achever et les garde-corps à poser. Le pont fut décentré le 4 avril 1905 et le 21 avril, on profita de ce que les rouleaux et chariots employés dans la matinée aux essais du pont du Val Benoît (un autre pont Hennebique aujourd'hui disparu) étaient disponibles pour les faire passer sur le pont de la Dérivation. Ces rouleaux et chariots, représentant 65 t, furent disposés d'abord en file comme charge de poids mort puis en passage simultané en charge roulante. Tous les tests furent très concluants. La foule nombreuse et compétente qui assistait aux passages de ces charges énormes sur un ouvrage d'une telle hardiesse, élevé en un point où aucun vestige de construction n'existait quatre mois auparavant, fut vivement impressionnée et des félicitations chaleureuses furent adressées aussi bien à l'auteur du projet pour la sûreté de ses méthodes

de construction qu'à l'entrepreneur qui sut habilement les appliquer dans un temps exceptionnellement court et en plein hiver.

Le béton armé et François Hennebique

Le béton armé, combinaison du ciment et du fer, apparaissait en 1873. Un premier pont en béton armé de 13,85 m de portée est construit en 1875, par Joseph Monier (1823-1906), sur des douves dans l'Indre.

La fin du 19^e siècle fut, en Europe, une période de brevets. En effet, chaque grand constructeur voulait développer son propre système pour séduire ses clients, ce qui a conduit à l'enregistrement d'un grand nombre de brevets « système » suivi du nom de l'inventeur pour la construction en béton armé. Certains ne se différencient que par quelques détails mais d'autres sont vraiment révolutionnaires. La reconnaissance officielle du béton armé date de l'Exposition universelle de Paris de 1900, où le système Hennebique profita d'une galerie-terrasse en béton armé pour se démarquer et se faire mieux connaître.

C'est à cette époque que François Hennebique développe son entreprise et diffuse l'utilisation du béton armé. Pour cela, il réalise des devis gratuits et invente une nouvelle technique simplifiant la mise en œuvre du béton armé. Il met aussi au point une stratégie de commercialisation par le biais de son magazine *Le Béton armé*.

Fils d'agriculteurs, Fr. Hennebique est né en 1842 dans le Pas-de-Calais, en France. Sans formation d'ingénieur, avec juste un certificat d'études en poche, il commence comme maçon pour devenir rapidement chef de chantier. En 1867, il quitte son patron et crée sa propre entreprise à Courtrai. Il passe vingt ans en Belgique. Il s'intéresse beaucoup à l'alliance du fer et du ciment et réalise ses premiers travaux en béton armé en 1879. Il fait des recherches sur le béton qui aboutiront en 1892 au brevet de la poutre à étrier qui assurera sa fortune

et fera la renommée de son entreprise, après avoir déjà élaboré en 1890 le système de construction en fer et béton qui porte son nom.

En 1894, il construit la première dalle en béton armé soutenue par des colonnes et des poutres, le tout en un seul bloc. Cette même année, il réalise son premier pont en béton armé à Wiggen, en Suisse, et surtout, il crée le bureau d'études Bétons armés Hennebique, qui disposera dès 1898 de bureaux dans un nouveau bâtiment à l'architecture audacieuse en béton, rue Danton à Paris. Dans un marché en rapide expansion, dopé par les caractéristiques très intéressantes du béton armé, la croissance de la société Hennebique repose sur la simplicité de la mise en œuvre du matériau et le sens de l'organisation de Fr. Hennebique. Il établit un réseau d'agents et de concessionnaires en France, en Europe puis dans le monde entier. Ceux-ci devaient transmettre les éléments de calcul de chaque affaire au bureau central de Paris. La firme Hennebique traitait jusqu'à 20 % du marché mondial de la construction en béton armé.

À partir de 1898, Fr. Hennebique publie le magazine *Le Béton armé* pour faire connaître ses travaux en diffusant l'information technique non sans arrière-pensée commerciale. Il entretient alors des contacts étroits avec toutes les personnes qui ont un pouvoir de décision dans le domaine de la construction. À l'aube de la Première Guerre mondiale, qui marque un coup d'arrêt à ses activités, 60 000 projets ont été étudiés, dont un quart environ se concrétisent. L'activité reprend après 1918 grâce à ses fils, mais de façon plus réduite. Le 7 mars 1921, l'un des plus grands innovateurs de construction en béton armé décède à Paris.

On dénombre plusieurs dizaines de ponts conçus par la société Hennebique en Belgique avant le premier conflit mondial. Les conflits mondiaux ont fait de gros dégâts. Le pont Mativa est le seul qui soit encore debout, et bien debout.

L'Exposition universelle de Liège de 1905

Le pont Mativa, comme celui de Fragnée et celui de Fétinne, est né grâce à l'Exposition universelle de Liège de 1905.

Liège a voulu prouver au monde que, sans être la capitale de la Belgique, elle n'en était pas moins l'un des pôles industriels du pays. En plus d'être d'intérêt régional, l'Exposition a été une occasion pour la Belgique, nation industrielle, de se valoriser et se présenter. L'intérêt économique était l'argument principal des promoteurs du projet.

Le Comité promoteur de l'Exposition est né en 1897. Il comprenait des industriels, des banquiers, des hommes de loi et des hommes politiques. Après avoir hésité sur la date de 1903, le Comité a opté pour 1905, date du 75^e anniversaire de la Belgique. Le site choisi, entre cinq propositions, fut la plaine des Venues, ce qui amena à des travaux importants, dont la rectification de l'Ourthe et la construction de nouveaux ponts.

En 1899, la Société anonyme de l'Exposition de Liège est créée et est appuyée par deux mille actionnaires.

Un comité exécutif se charge de porter le projet et d'en faire la promotion dès l'année suivante. Les organisateurs liégeois se sont attelés à une tâche immense : dresser le bilan du savoir et des techniques pour illustrer l'universalité des activités humaines. Ils ont donc réalisé une vaste synthèse illustrant les acquis du passé, afin de dresser une sorte d'inventaire pour inaugurer des temps nouveaux et prometteurs.

Pour que le cadre offert aux millions de visiteurs attendus soit digne de l'entreprise grandiose que constituait une Exposition universelle internationale, d'importants aménagements ont été réalisés. Pour permettre aux visiteurs de circuler aisément entre les différentes sections de l'Exposition, trois ponts ont été érigés : Fragnée (sur la Meuse) et Fétinne (sur l'Ourthe) en métal et Mativa (sur la Dérivation) en béton armé. Le site de Cointe sera modifié, des monuments érigés, des liaisons aménagées, les transports en commun développés.

Trente-huit pays étrangers étaient présents à l'Exposition. Avec la section belge comprise, ce ne sont pas moins de seize mille exposants qui s'y présentèrent. Sept millions de visiteurs foulèrent les sites de l'Exposition, ce qui constitue un énorme succès.



Fig. 2

Plan de l'Exposition universelle de 1905 à Liège © D.R.

Les traces de l'Exposition encore visibles actuellement sont les trois ponts précités, le musée du parc de la Boverie, une petite fabrique en forme de temple à l'extrémité de ce même parc et les tracés actuels des cours d'eau. L'urbanisation des quartiers sud de la ville s'est intensifiée à la suite de cet événement.

La réalisation du pont Mativa illustre bien les ambitions d'une telle manifestation et, au-delà de sa dimension éphémère, ses enjeux. Équipement permanent concédé à la Ville par les organisateurs de cette confrontation entre grandes puissances industrielles, le pont est aussi conçu comme un objet d'exposition qui, à l'échelle urbaine, illustre ce que l'on produit de plus abouti en matière de génie civil.

Description du pont

Le pont Mativa mesure 80 m de long, dont 55 m de portée de la travée centrale, et une dizaine de mètres de large. Son épaisseur de 35 cm à la clé le rend très élégant. Il est surbaissé, la navigation de fort tonnage ne se faisant pas sur la Dérivation mais sur la Meuse.

Le pont Mativa est une combinaison de deux systèmes de construction. Au niveau des fondations, la méthode

de compression mécanique du sol a été employée. Pour le reste, l'ouvrage a été construit à l'aide du procédé Hennebique de béton armé. À l'origine, le dallage de la chaussée était en asphalte armé, celui des trottoirs en béton de ciment Portland et la bordure de trottoir en béton.

Pour permettre son franchissement facile à pied pour des visiteurs de l'Exposition, la pente du pont est inférieure à 5 cm par mètre. Afin de ne pas encombrer le lit du cours d'eau, sujet à de fréquentes crues dans cette courbe, l'ouvrage franchit la Dérivation d'une seule portée. Ceci donne un arc surbaissé d'une ouverture de 55 m avec une élévation de 3,65 m, le quinzième de la longueur, seulement, traversant le cours d'eau, ce qui est très rare. L'aspect gracile du pont met en scène l'idée de résistance et de solidité du béton armé. Le pont Mativa étonne par sa faible épaisseur en clé de voûte. Celle-ci est de 35 cm, soit 6 % de la portée de 55 m.

À sa création, une double ligne de tramway passait sur l'ouvrage. Ces lignes faisaient partie d'un circuit spécialement construit pour faciliter la visite de l'Exposition. Ce circuit n'était pas connecté au réseau général. Après l'Exposition, ces voies n'avaient plus de raison d'être. Elles ont donc été retirées.

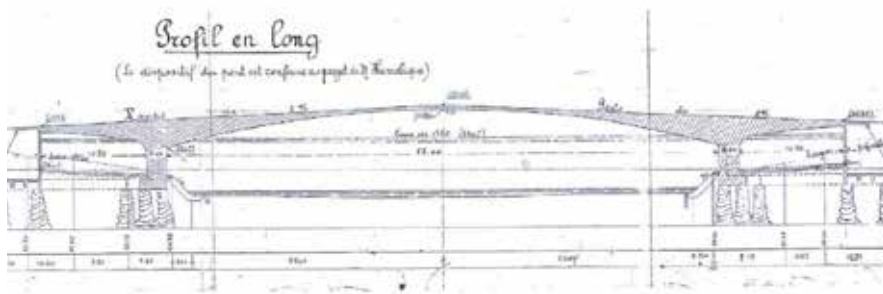


Fig. 3

Profil du pont © D.R.



Fig. 4
Le pont vu du quai Mativa. G. Focant © SPW-AWaP

Les fondations des piles ont été réalisées à partir de pieux de béton enfoncés de 8 m dans le sol. Les piles reposent sur dix pylônes enfoncés. Le béton de remplissage des puits est composé de graviers, de sable et de ciment de laitier. L'élargissement de la base formé par le pilonnage rejoint le béton des pylônes voisins pour constituer ainsi une fondation continue. Le pont est composé de deux caissons de chaque côté. La position du béton et de ses armatures a été réfléchi pour obtenir une finesse extrême. L'épaisseur du voile inférieur ne fait que 75 cm à son point le plus important. Les culées reposent sur huit pylônes semblables à ceux des piles. Les quatre barres d'acier de chaque pylône n'ont que 30 mm de diamètre. Les murs de soutènement des terres avec leurs contreforts sont en béton armé.

Les lampadaires ainsi que les garde-corps sont contemporains de l'ouvrage. Ils ont été dessinés en même temps que le pont dans le bureau de la société Hennebique à Paris. Au départ, les lampadaires fournissaient la lumière à l'aide d'un brûleur au gaz. Actuellement, la forme supérieure des candélabres a été modifiée et ils sont électriques, bien que de nouveaux lampadaires au gaz, de même forme, aient été réinstallés, il y a quelques années, non loin de là sur les berges du quai Mativa.

Bibliographie

BERHIN L., 2008-2009. *L'étude du Pont Mativa : vers un classement*. Institut supérieur d'architecture Saint-Luc de Liège, mémoire de fin d'études non publié.

DELHUMEAU G., 1999. *L'invention du béton armé. Hennebique, 1890-1914*. Paris, Institut français d'architecture.

DELHUMEAU G., 1999. Le Pont Mativa. In : WARZÉE G. (dir.), 1999, *Le patrimoine moderne et contemporain de Wallonie*. DGATLP, Jambes, 6 : 269-272.

En 1996, une piste cyclo-pédestre, futur RAVeL, est aménagée dans le parc de la Boverie, depuis le pont Albert I^{er} jusqu'au pont Mativa, non compris. Ce dernier est alors aménagé avec un revêtement de blocs de béton teinté, encore présent en 2011, les bordures de trottoir étant en granit. Le pont est donc uniquement emprunté par les piétons et les cyclistes, et non plus, comme à ses débuts, par d'autres moyens de locomotion (excepté l'épisode du tram).

Une liaison avec le quai Mativa pour la circulation automobile serait difficile au vu des différences de gabarit de route. Un mur contraire visuellement cette liaison pour les automobilistes distraits.

Le classement du pont

Après plus de vingt ans de démarches, le pont a été classé comme monument en 2016 pour ses intérêts historique, mémoriel, architectural, esthétique, scientifique et social. Il rejoint ainsi le jardin d'Acclimatation et le parc de la Boverie, classés comme site en 1974, et les ponts sur la Meuse et l'Ourthe à Liège, dits pont de Fragnée et pont de Fétinne, classés en 1994 comme monument à l'exclusion des aires de roulage des véhicules, ainsi que le square Gramme, situé au confluent de la Meuse et de l'Ourthe, classé comme site.

MIDANT J.-P. (dir.), 1998. *Dictionnaire de l'architecture du XX^e siècle*. Paris, Hazan.

-, 1905. Les ponts Hennebique : les trois jumeaux. *Le Béton armé*, 8^e année, juin 1905, 85 : 77-89.

-, Le béton armé. In : GERD H. (dir.), 1964. *Dictionnaire de l'architecture moderne*. Paris, Hazan : 58-64.

Faire entrer la lumière dans une utopie architecturale, à propos de la verrière et de la voûte de la Cité Miroir

Thomas FRANCK

Le bâtiment que les Liégeois connaissent aujourd'hui sous le nom de la Cité Miroir porte la marque d'une histoire d'innovations, tant techniques qu'architecturales et sociales. Construit entre la fin des années 1930 et le début des années 1940 (précisément de 1938 à 1942), le lieu est dans un premier temps destiné à accueillir une piscine couverte située au quatrième étage d'un immeuble fortement inspiré du style Bauhaus. Ce choix est déjà en soi un parti pris, une innovation architecturale, traversée par l'idée de faire entrer, grâce au verre, la lumière du monde extérieur dans l'intériorité d'un lieu et faire ainsi communiquer les espaces du dedans et du dehors. Fondée en 1919 à Weimar par Walter Gropius (1883-1969), avant d'émigrer à Dessau en 1925, l'école du Bauhaus se démarque par une valorisation de la fonctionnalité, des formes géométriques et par une conception innovante de l'architecture, qui devient projet sociétal, voire utopie révolutionnaire. À propos du Bauhaus, un très bel ouvrage paru récemment (Grande et Varbella, 2021) met en lumière tout le sous-bassement politique et philosophique d'une esthétique architecturale nouvelle : les dessins font incontestablement penser au bâtiment des anciens Bains et Thermes de la Sauvenière. Les composantes géométriques et fonctionnalistes se retrouvent tout particulièrement dans l'esthétique épurée du lieu, et plus précisément dans l'immense verrière de la façade située du côté de la place Xavier Neujean. La profonde rupture provoquée avec la tradition, notamment avec le néoclassicisme

monumental et cloisonnant, vaut à l'école d'être dissoute par le nazisme et considérée comme « art dégénéré » (voir également Droste, 2015). Éric Michaud a toutefois très bien nuancé, notamment dans *La fin du salut par l'image*, cette croyance en un mouvement architectural complètement résistant et antinazi, dans un contexte politique et idéologique où l'art risque toujours de se soumettre à une logique totalitaire (Michaud, 2020).

Dès le lancement du concours architectural pour l'édification des bains liégeois en 1936-1937, des questions d'ordre technique sont posées, notamment sur la nature du sol et sur les normes qui cadrent l'usage d'une



Fig. 1
Les Bains et Thermes en 1942 © V. Bianchi

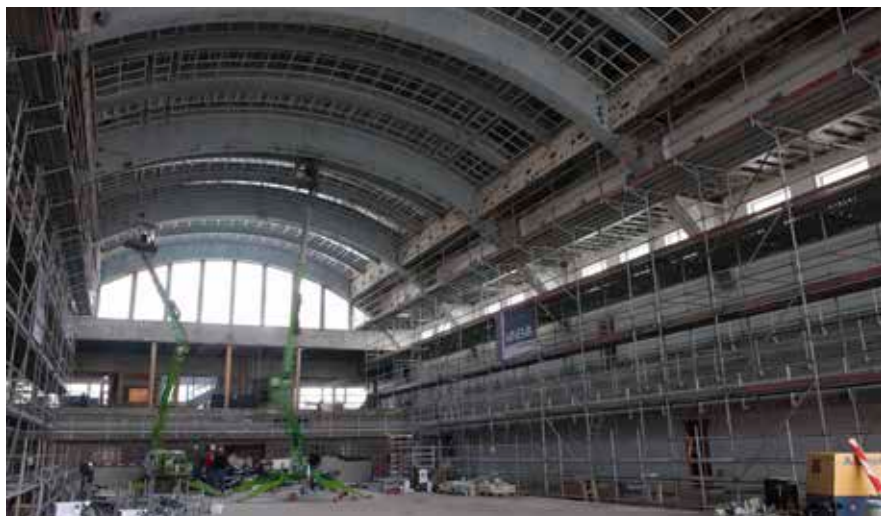


Fig. 2

Les travaux de restauration. G. Focant © SPW-AWaP

construction en béton armé. C'est le projet de Georges Dedoyard (1897-1988) qui remporte le concours, avec comme prouesse technique le fait de parvenir à contenir, sur deux étages, 1 200 m³ d'eau et de constituer une réserve d'eau reliée par une conduite en fonte au Théâtre voisin (l'eau du petit bassin peut également être remontée dans le grand bassin lors des compétitions de natation). Bien entendu, l'un des joyaux du lieu est constitué par la voûte en verre (produite à partir d'éléments de la cristallerie du Val Saint-Lambert), qui remplace les toutes premières dalles translucides détruites par un bombardement nazi en mai 1940 lors de la construction (Conradt, 2015 : 285). Cette voûte zénithale soutenue par huit arcs en béton armé, ne perdurera que dix-sept ans, soit jusqu'en 1959. L'éclairage LED, perceptible au travers des caillebotis de métal fixés sous un toit en zinc lors de la rénovation de 2009-2013, rappelle aujourd'hui autant l'ouverture céleste que son reflet dans les eaux des bains, symboles de l'ouverture d'un lieu vers son extériorité.

Il faut ici mentionner, outre plusieurs ponts (Kennedy, Albert et des Arches) et les magasins Au Bon Marché (actuellement Galeria Inno), au moins une autre réalisation majeure de l'architecte G. Dedoyard dans les environs de Liège, dans un style très proche de celui de la Cité Miroir : les salles de l'OM à Seraing (ancienne salle de fêtes de Cockerill), actuellement en cours de rénovation. La réaffectation de ce lieu en bord de Meuse sera tout particulièrement marquée par l'innovation technique propre aux arts de la scène (studios d'enregistrement, scènes avec nouvelles installations, système de captation vidéo pour le Web).

L'ouverture qui caractérise l'architecture de G. Dedoyard est accentuée, dans le cas de la Cité Miroir, par la grande verrière de 30 m de large sur une hauteur de 8 m, située du côté de la place Xavier Neujean. La présence de céramique turquoise en façade colore, de façon très subtile, une structure qui s'intègre parfaitement dans le paysage urbain. L'un des enjeux de la restauration

du bâtiment résidait dans la minimisation des pertes énergétiques et dans la maximisation de l'isolation (autant thermique qu'acoustique), conjointement à la préservation des matériaux originels. C'est pour cette raison que le bureau d'architecture Triangle a misé sur du double vitrage isolant à contrôle solaire, les anciens châssis étant remplacés par des nouveaux, caractérisés par une isolation thermique renforcée. Le bureau d'architectes a repris la division horizontale prévue à l'origine par G. Dedoyard. Au niveau de la voûte, un plafond absorbant (acoustique) est disposé afin de pallier les effets de résonance induits par un tel volume. L'orientation sud-est du bâtiment ainsi que l'arc de cercle que forme la verrière rendent possible l'immixtion du soleil, quasiment matérialisé par les courbes de la structure, à la fois solaire et comme en demi-lune.

Les prouesses techniques de la structure d'origine, auxquelles il faut ajouter un système de chauffage, d'aération et d'irrigation ingénieux (plusieurs moto-pompes et boilers), ne doivent pas occulter l'innovation sociale et politique que représente le lieu dès sa création. En effet, la visée publique d'un accès pour tous et toutes à l'hygiène corporelle, aux sports et aux loisirs se couple à des tarifs avantageux et aux possibilités d'abonnements familiaux. Dans la logique des conquies sociaux d'avant et d'après-guerre, dont la réduction du temps de travail, les congés payés et l'accès à une assistance de santé, un tel lieu public se pense comme la rencontre d'un collectif hétérogène, celui des Liégeois et Liégeoises de tous horizons. Bien plus, il s'agit d'un espace de socialisation, de rencontre, d'échange, de cristallisation de dynamiques sociales en tout genre. Les écoles communales y trouvent également leur compte, bénéficiant gratuitement de la piscine pour l'apprentissage de la natation jusqu'à la fin du 20^e siècle.

S'intéresser aux choix esthétiques et techniques de l'architecture moderniste et fonctionnaliste des Bains

et Thermes de la Sauvenière oblige à penser l'innovation qu'elle représente à la fois comme un dépassement de la tradition instituée (les idées de façade, de fronton, d'étage, d'uni-fonctionnalité, d'intériorité/extériorité, de publicité, l'utilisation assumée du béton et du verre, le caractère intime/extime) et comme une expérimentation sociétale unique. Celle-ci conçoit notamment l'espace non plus comme le lieu d'un cloisonnement, d'une séparation, mais comme l'opportunité d'une ouverture et d'un échange : il devient alors espace public. Ce terme est à entendre dans une acception forte, c'est-à-dire comme une forme d'expression et de réalisation d'échanges nouveaux, ceux permis par les loisirs, les sports et les activités publiques. Autre prouesse technique, la gare des bus qui passe sous le bâtiment, et donc sous les 1 200 m³ d'eau, représente, elle aussi, la dimension publique et collective du projet. En amenant les bus au sein même d'un lieu situé en plein centre-ville, c'est toute une mobilité et une conception du service public qui sont repensées.

En un sens, le bâtiment multifonctionnel de la Sauvenière (où le loisir et la détente supplantent bien souvent la seule dimension sportive) correspond très bien aux hétérotopies telles que décrites par Michel Foucault, ces espaces fondamentalement autres, qui rompent avec



Fig. 3
Vue depuis la place Xavier Neujean © MNEMA

les habitudes au profit de nouvelles formes de déambulation, d'intersubjectivité, qui décroissent l'espace du dedans et du dehors, et qui rendent possible une libération des corps, non leur discipline – le philosophe français parlerait du corps comme d'une utopie elle-même créatrice d'espaces (Foucault, 2019). Ces termes et analyses auraient parfaitement pu être portés par l'école du Bauhaus, particulièrement attentive aux liens qui unissent la géométrie architecturale à la géométrie des corps humains. Les nombreux témoignages, ceux récoltés par Marcel Conrard, auteur d'un ouvrage sur les piscines liégeoises (Conrard, 2015) et par l'association MNEMA notamment (coll., 2014), vont bien souvent en ce sens, parlant des Bains et Thermes comme d'un lieu tout à fait singulier, à la fois inquiétant et fascinant, toujours affectif. De tels volumes, une telle lumière, une telle mixité collective ne peuvent en effet qu'intriguer enfants, parents, enseignants ou simples badauds happés dans une nouvelle temporalité, elle-même constitutive d'une nouvelle spatialité.

L'expérience n'est pas complètement étrangère à celle que vivent les visiteurs de la Cité Miroir en ce premier quart de 21^e siècle, bien que la fonctionnalité de l'endroit soit radicalement bouleversée. Les regards sont d'emblée attirés par la hauteur ressentie depuis l'ancien petit bassin, désormais espace Rosa Parks, duquel s'élève une colonne comprenant un ascenseur vitré. L'extrême clarté du lieu n'est donc plus ressentie dans un face-à-face, comme ce fut le cas durant des décennies (à un moment où l'entrée se faisait du côté du boulevard de la Sauvenière), mais par l'arrière, comme si le visiteur était invité à s'immerger dans ce puits de lumière collectif. Les trois niveaux qu'il peut alors découvrir ne viennent pas rompre cette impression. En effet, depuis l'ancien grand bassin, aujourd'hui espace Georges Truffaut (cet ancien échevin, mort en résistant, à l'origine du projet et qui n'en verra pas l'inauguration en 1942) puis depuis le salon des Lumières (l'ancienne cafétéria L'Escale bleue),

le visiteur peut mesurer toute l'ampleur du bâtiment et la lumière qui s'y déploie.

Preuve de l'attachement des citoyens liégeois à ce bâtiment, c'est une initiative citoyenne (une pétition lancée par l'association SOS Mémoire de Liège) qui sauve le bâtiment de la destruction dans les années 1990. Malgré la fermeture au public en 2001, le lieu continuera de proposer à très bas prix (1,30 €) un service de douches et baignoires à destination des personnes ne bénéficiant pas de ce genre d'infrastructure. Pallier les difficultés d'accès à l'hygiène (souvent dues à une précarité socio-économique) et offrir un service de soins et de loisirs publics, voici les objectifs qui ont guidé l'histoire des Bains de la Sauvenière, définitivement fermés en 2009.

L'association MNEMA, sous l'impulsion des Territoires de la Mémoire, gère alors la restauration du lieu de 2009 à 2013 qui devient la Cité Miroir, inaugurée en janvier 2014, les premiers dossiers de réhabilitation datant de 2004. Bien que le lieu acquière une fonction culturelle et qu'il soit désormais centré sur des questions d'émancipation intellectuelle et citoyenne, il ne perd nullement son caractère public et social. En se concentrant sur des thématiques relatives à la mémoire, au dialogue des cultures et en privilégiant une éducation permanente – par l'intermédiaire d'expositions, de conférences, de débats, de spectacles et de rencontres en tout genre –, la Cité Miroir prolonge, tout en le déplaçant, le projet originel. L'architecture et la dimension patrimoniale de l'endroit y occupent en effet une place centrale, chaque exposition proposée dans ce qu'on appelle toujours le grand ou le petit bassin prenant nécessairement en compte les contraintes spatiales et architecturales. Nouvelle prouesse technique, l'édification d'une salle de spectacle de 260 places (espace Francisco Ferrer) en dessous de l'ancien grand bassin rend possible une programmation culturelle originale, dont l'« engagement » est une dimension constitutive.



Fig. 4

Vue vers l'ancien grand bassin. G. Focant © SPW-AWaP



Fig. 5

La structure en béton de la verrière, après restauration © B. Leveaux

Il apparaît donc que la grande verrière située en devanture du bâtiment fonctionne comme un symbole même de celui-ci, comme une invitation à regarder ce qui s'y joue, à entrer à l'intérieur d'un espace de dialogue et d'échange. L'immixtion de la lumière, autrefois accentuée par la voûte zénithale, s'oppose aux nombreuses constructions cloisonnées et cloisonnantes des années 1930-1940, mais aussi à l'usage massif, intensif et inintelligent du béton dans le paysage urbain. Jouant du contraste entre ombre et lumière, mais plus encore entre histoire mémorielle et innovation contemporaine, la Cité Miroir

porte en elle toute la charge d'un lieu qui fut un affront envers les fascismes – les Bains et Thermes de la Sauvenière, impulsés par un futur résistant, sont inaugurés en pleine occupation, dans un style considéré comme « dégénéré » mais porteur d'un idéal politique fort – tout en se présentant au regard des visiteurs comme extrêmement contemporaine. C'est donc bien d'un patrimoine vivant, mémoriel et social qu'il s'agit lorsque l'on entre dans l'enceinte de la Cité Miroir à Liège.

Bibliographie

CHARLIER S. (dir.), 2014. *Guide. Architecture moderne et contemporaine 1885-2014*. Liège. Bruxelles, Mardaga.

COLL., 2014. *La Cité Miroir. Genèse d'une réhabilitation*. Liège, MNEMA Éditions.

CONRADT M. 2015. *Histoires des bains et bassins de natation de Liège. Du 17^e siècle à nos jours*. Liège, Les Éditions de la Province de Liège.

DROSTE M., 2015. *Bauhaus. 1919-1933*. Cologne, Taschen.

FOUCAULT M., 2019. *Le corps utopique, les hétérotopies*. Paris, Nouvelles Éditions Lignes.

GRANDE V. et VARBELLA S., 2021. *Bauhaus. L'idée qui a changé le monde*. Paris, Seuil.

MICHAUD É., 2020. *La fin du salut par l'image*. Paris, Flammarion.

-, s.d. Anciens Bains et Thermes de la Sauvenière. In : *Connaitre la Wallonie*. URL : <http://connaitrelawallonie.wallonie.be/fr/anciens-bains-et-thermes-de-la-sauveniere#.YkP3MIVBzIU>.



L'innovation à l'honneur

Gislaine DEVILLERS

Le thème 2022 des Journées européennes du Patrimoine en Wallonie rejoint le thème choisi par l'UNESCO pour marquer le 50^e anniversaire de la Convention concernant la protection du patrimoine mondial culturel et naturel. Ce thème est ambitieux : *Les 50 prochaines années : le patrimoine mondial en tant que source de résilience, d'humanité et d'innovation pour les générations futures*. L'UNESCO propose de décliner cet objectif à travers cinq axes : le changement climatique, le tourisme durable, la transformation numérique, le relèvement post-covid et une Liste du patrimoine mondial représentative, équilibrée et crédible. Ce dernier axe se différencie des autres car il concerne la Convention en elle-même. Depuis de nombreuses années, des réflexions sont menées sur l'accroissement du nombre de sites inscrits sur la Liste du patrimoine mondial (1154) et sur les déséquilibres qu'elle renferme : une majorité de sites situés en Europe et une faible représentation de l'Afrique, pourtant une des priorités de l'UNESCO ; déséquilibre également dans les typologies présentes et volonté de mieux refléter la diversité et la richesse culturelle de l'humanité. L'enjeu n'est donc pas de ne plus inscrire mais de mieux inscrire.

La Liste du patrimoine mondial a pour vocation de recenser des biens de valeur universelle exceptionnelle dont la conservation repose sur les pays qui les abritent

mais aussi sur la solidarité internationale. Il faut admettre que nous en sommes loin. Le patrimoine et le patrimoine mondial sont les cibles privilégiées des conflits qui secouent le monde. Ils sont aussi soumis aux catastrophes naturelles et, il faut le reconnaître, aux erreurs de gestion des responsables qui ont parfois du mal à résister aux sirènes d'investisseurs à la recherche de rentabilité à court terme. Une Liste du patrimoine mondial crédible, c'est aussi une liste dont les composantes sont des modèles de conservation et de gestion. Le nombre croissant de rapports sur l'état de conservation des biens inscrits sur la Liste du patrimoine mondial permet de mesurer le travail qu'il reste à faire. Cela pose aussi la question des moyens. Comment mettre en adéquation le nombre toujours croissant de biens inscrits sur la Liste, les menaces diverses et urgentes auxquelles ils sont confrontés et des moyens qui, eux, n'évoluent pas ou peu ?

Les quatre autres axes sont liés à des questions d'actualité et sont à mettre en lien avec l'article 5.(a) de la Convention selon lequel : « ... les États parties ... s'efforceront ... : (a) d'adopter une politique générale visant à assigner une fonction au patrimoine culturel et naturel dans la vie collective, et à intégrer, la protection de ce patrimoine dans les programmes de planification générale ». Cet article peut s'aborder selon deux approches distinctes.

D'une part, il convient de prendre en considération les particularités du patrimoine comme une ressource unique, non renouvelable et par là même fragile qui doit bénéficier d'une attention des différents secteurs de la société. D'autre part, le patrimoine est un bien commun, une ressource qui contribue à relever les défis auxquels est confrontée la société. Cette contribution peut être directe – pensons aux parcs et jardins qui ont accueilli les promeneurs et les familles pendant la pandémie – ou indirecte, notamment comme source d'inspiration – pensons à l'art de bâtir, à l'orientation des bâtiments, à leur installation dans le paysage.

Associer patrimoine et innovation peut paraître paradoxal. Le patrimoine évoque un regard vers le passé alors que le terme innovation nous place dans le présent et nous ouvre à l'avenir. D'autres ont traité de l'importance des techniques nouvelles au service d'une meilleure connaissance du patrimoine, d'une meilleure

gestion, d'une accessibilité et d'une valorisation accrues mais également des opérations de restauration. Mais le mot innovation est, par nature, relatif et lié à la notion de temps. La créativité d'aujourd'hui sera l'ordinaire de demain. Cette relativité est illustrée par la Liste du patrimoine mondial.

Les 1154 biens qu'elle recense sont reconnus de valeur universelle exceptionnelle. Cette haute valeur s'exprime à travers les dix critères d'exceptionnalité que le Comité a définis. Le premier d'entre eux fait référence à cette idée d'innovation puisqu'il s'applique à des sites qui constituent « un chef-d'œuvre du génie créateur humain ». Le Comité du patrimoine mondial a décidé de le reconnaître pour 257 biens dont quatre sont situés en Belgique : les habitations majeures de l'architecte Victor Horta et le palais Stoclet à Bruxelles, l'œuvre architecturale de Le Corbusier – une contribution exceptionnelle au Mouvement moderne en Flandre –



Fig. 1

Le site des quatre ascenseurs du canal du Centre historique à La Louvière : un ensemble unique au monde fonctionnant grâce à des principes physiques simples et sans énergie fossile. G. Focant © SPW-AWaP

et les minières néolithiques de silex de Spiennes en Wallonie. C'est l'un des critères les moins utilisés pour justifier une inscription sur la Liste du patrimoine mondial, à peine plus que celui sur les valeurs associées. Le moins fréquemment évoqué est celui concernant les types d'installation humaines, d'occupation du territoire et d'interaction avec l'environnement.

Toutefois, la nouveauté s'exprime de diverses manières et les sites culturels wallons inscrits sur la Liste du patrimoine mondial portent tous une dimension innovante.

Le premier site que la Wallonie a proposé pour inscription sur la Liste du patrimoine mondial est composé des quatre ascenseurs du canal du Centre et leur site. Effectivement, ce système avait déjà été utilisé ailleurs mais en nombre limité : seulement huit exemplaires seront construits à travers le monde. Le principe même de ces ascenseurs relève du génie humain puisqu'il se fonde sur des principes physiques simples et que nous qualifierions aujourd'hui de durables. Il constitue également la solution la moins consommatrice d'eau, ce qui était un des défis de la construction de ce canal dans une zone pauvre en ressources hydriques : franchir une dénivellation totale de plus de 60 m. La construction fait appel à des techniques modernes pour l'époque : une construction métallique assemblée par rivetage. L'innovation, c'est également d'avoir associé quatre ascenseurs sur un parcours d'environ 7 km. Ce sera la seule réalisation de ce type au monde.

Les beffrois expriment aussi une forme d'innovation dans la gouvernance puisque leur construction est étroitement liée à l'affranchissement des villes et à l'apparition d'une nouvelle forme de pouvoir : le pouvoir civil et communal. Il s'affirme dans le paysage urbain au côté du donjon du prince et du clocher de l'église. La complémentarité ou la rivalité qui existe entre ces trois composantes de la société s'exprime à travers la situation, la hauteur, la richesse des trois tours qui par-

fois se confondent. La modernité des beffrois s'exprime aussi à travers les styles architecturaux qu'ils adoptent et qui sont souvent le style à la mode au moment de la construction ou de la reconstruction. Ainsi, quand la Ville de Charleroi décide de doter son nouvel hôtel de Ville d'un beffroi, elle reprend les codes de la construction médiévale : la tour, la cloche ou plutôt le carillon, l'horloge, la girouette, etc. mais elle opte pour le style Art déco, à la mode dans l'entre-deux-guerres.

L'année 2000 a vu l'inscription de deux biens wallons sur la Liste du patrimoine mondial. La cathédrale Notre-Dame de Tournai est l'un d'eux. Peut-on imaginer patrimoine plus classique ? Un édifice religieux, pour partie de style roman et pour partie de style gothique. Rien de bien innovant. Et pourtant, certains éléments de son plan et de ses élévations ont sans doute influencé le développement du premier art gothique ; son transept surmonté de cinq tours en annonce les prémices. Il sera un modèle et une source d'inspiration pendant toute la deuxième moitié du 12^e siècle. La nef présente également plusieurs innovations importantes qui contribuent à son unicité : la transposition à l'extérieur de la coursière des fenêtres hautes, l'élévation à quatre niveaux ainsi que le double portail occidental. De son côté, le chœur marque l'introduction du gothique classique en Belgique.

Le second bien inscrit sur la Liste du patrimoine mondial en 2000 est celui des minières néolithiques de silex de Spiennes, près de Mons. C'est le seul bien wallon inscrit sur la Liste du patrimoine mondial pour lequel le critère du génie créateur humain a été reconnu par le Comité du patrimoine mondial. Ce vaste site archéologique se distingue tant par son ampleur (environ 100 ha), par la durée de son exploitation (du dernier tiers du 3^e millénaire jusque dans la première moitié du 3^e millénaire), que par les techniques d'extraction mises en œuvre (fosses, puits...) et par la densité de l'exploitation et la complétude du processus d'exploitation (extraction, taille, diffusion).

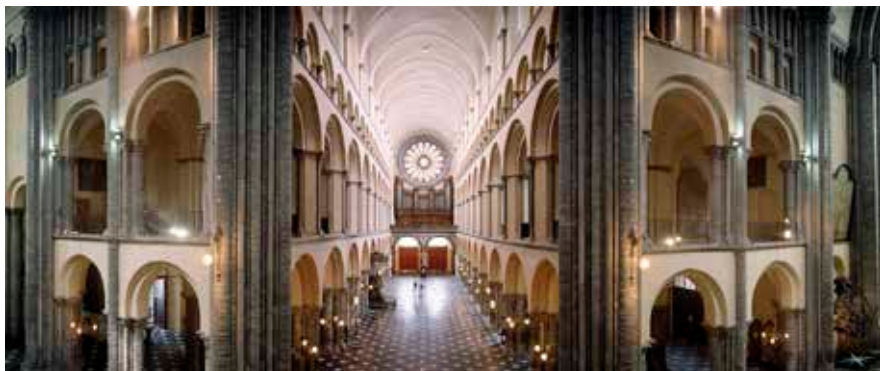


Fig. 2

La cathédrale Notre-Dame de Tournai : l'élévation à quatre niveaux, une des innovations de sa nef romane © AWaP

La technique d'extraction la plus remarquable mise au point par les hommes néolithiques à Spiennes est celle du foudroyage. Elle consiste à creuser des puits de 0,8 à 1,2 m de diamètre et dont les plus profonds atteignent 16 m afin de passer sous les couches de silex, dégager en sous-œuvre en laissant un muret de craie au milieu, étançonner, détruire le muret et retirer les étançons pour provoquer l'effondrement de la dalle. Les morceaux de silex sont alors remontés à la surface où ils sont taillés pour façonner des outils (haches et lames). La densité des puits, jusqu'à 5 000 sur les 14 ha du plateau de Petit-Spiennes, et des déchets de taille permettent d'imaginer l'importance de l'exploitation.

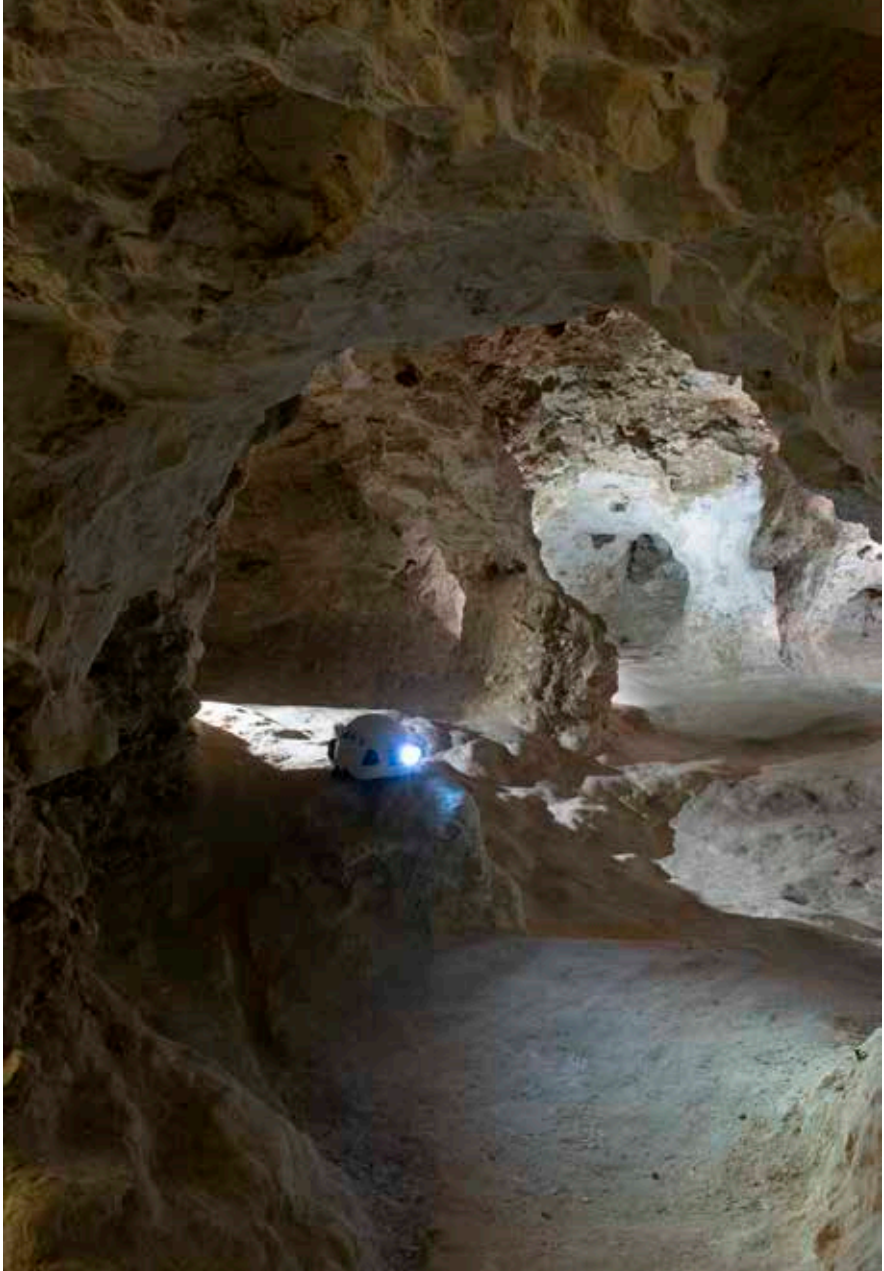
Les sites miniers majeurs de Wallonie fêtent cette année les dix ans de leur reconnaissance. À eux quatre, ils témoignent de l'histoire de l'exploitation du charbon depuis l'arrivée de la Révolution industrielle sur le continent européen, au début du 19^e siècle, jusqu'à la fin de l'activité minière en Wallonie durant la seconde moitié du 20^e siècle. Ils sont les témoins de la capacité et de l'ingéniosité des industriels et des travailleurs wallons à s'approprier les nouveautés venues d'outre-Manche, à les adapter et devenir à leur tour des modèles pour

d'autres régions industrielles d'Europe et du monde. Les sites du Grand-Hornu et de Bois-du-Luc témoignent d'une époque où l'architecture exprime la puissance de l'industrie et où les cités ouvrières destinées à fidéliser les ouvriers sont conçues en fonction des normes d'hygiène et de confort de l'époque. Le Bois du Cazier et Blegny-Mine nous parlent des volets techniques et sociaux. Ils nous racontent la construction de notre société avec la richesse de sa diversité.

Enfin, tout récemment la ville de Spa a rejoint la Liste du patrimoine mondial comme l'une des Grandes villes d'eaux d'Europe. Avec dix autres villes, elle témoigne d'une organisation sociale codifiée basée sur des pratiques médicales centrées sur les vertus curatives de sources d'eau minérale que l'on boit ou dans laquelle on se baigne. Ces villes expriment à travers leur architecture, leur organisation territoriale, leurs infrastructures ce qu'était la cure thermale faite de soins, d'exercices

Fig. 3

Les minières néolithiques de silex de Spiennes : le seul bien wallon reconnu comme « chef-d'œuvre du génie créateur humain ». G. Focant © SPW-AWaP



physiques et de moments de loisirs. Elles deviennent des lieux de villégiatures et des centres touristiques précoces. L'importance de Spa se traduit par l'usage de son nom comme mot commun pour désigner les centres thermaux y compris de thermoludisme. Elles se sont influencées mutuellement et il est souvent difficile d'attribuer avec certitude la paternité d'une innovation. Il n'en demeure pas moins que ces villes ont été et sont des lieux d'échanges, de recherches scientifiques et de création artistique.

À travers les sites qu'elle a proposés pour inscription sur la Liste du patrimoine mondial, la Wallonie a mis en avant la richesse et la diversité de son patrimoine et a rendu hommage aux savoirs et savoir-faire des hommes et des femmes qui l'ont façonnée.

Les auteurs

ANSLIN Jean-Noël, archéologue (AWaP – Direction de l'Appui scientifique et technique)

BAUWENS Catherine, archéologue (AWaP – Direction opérationnelle Zone est)

BILLEN Roland, professeur ordinaire, Faculté des Sciences, Département de Géographie, unité de Géomatique – Topographie et géométrie, sphères - Conseil sectoriel à la recherche et à la valorisation Sciences et Techniques (Université de Liège)

BRILLOT Madeleine, coordinatrice des Journées du Patrimoine (AWaP – Direction de la Promotion du patrimoine)

CARLY Olivier, historien, gestionnaire en sauvegarde du Patrimoine (AWaP – Direction opérationnelle Zone centre)

DEGREEF Diane, chargée du projet Semaine Jeunesse et Patrimoine, conseillère en nouvelles technologies (Musées et Société en Wallonie asbl)

DELAUNOIS Élise, archéologue (AWaP - Direction opérationnelle Zone centre)

DERUYVER Thomas, architecte (AWaP – Direction du Développement stratégique)

DEVILLERS Céline, archéologue et topographe référence pour l'enregistrement des données spatiales pour le projet Grognon à Namur

DEVILLERS Gislaine, chargée des relations internationales (AWaP – Direction du Développement stratégique)

DUBOIS Gaëlle, historienne de l'art (AWaP – Direction opérationnelle Zone est)

DUBUISSON Michel, Directeur adjoint (asbl Abbaye de Villers-la-Ville)

ESPION Bernard, ingénieur civil des constructions, docteur en Sciences appliquées, professeur émérite (Université libre de Bruxelles)

FRANCK Thomas, chargé de recherche (MNEMA - Centre pluridisciplinaire de la Transmission de la Mémoire)

JACQUET Romain, chargé de projets orientés Patrimoine, Formateur T.I.C. (Musées et Société en Wallonie asbl)

MANIL Sébastien, ingénieur architecte, coordinateur du Pôle de la pierre (AWaP – Direction de la Formation aux métiers du patrimoine)

PROVOST Michel, ingénieur civil des constructions, professeur invité (Université libre de Bruxelles)

VAN RUYMBEKE Muriel, chercheuse postdoctorale et archéologue (Université du Luxembourg - C²DH - Luxembourg Centre for Contemporary and Digital History)

ÉDITION

Agence wallonne du Patrimoine
Rue du Moulin de Meuse, 4 – 5000 Beez

ÉDITEUR RESPONSABLE

Annick Fourmeaux, Directrice générale SPW Territoire,
Logement, Patrimoine, Énergie

DIRECTION DE LA PROMOTION DU PATRIMOINE

Étienne Sermon

GRAPHISME

Fabien Cornélusse

IMPRESSION

db Group.be

INFORMATIONS

Secrétariat des Journées du Patrimoine
Rue Paix-Dieu 1b - 4540 Amay
085 27 88 80

journeesdupatrimoine@awap.be
www.journeesdupatrimoine.be

En cas de litige, Médiateur de Wallonie : Marc Bertrand
0800 19 199 — le-mediateur.be

Le texte engage la seule responsabilité des auteurs.
L'éditeur s'est efforcé de régler les droits relatifs aux
illustrations conformément aux prescriptions légales. Les
détenteurs de droits qui, malgré ses recherches, n'auraient
pu être retrouvés sont priés de se faire connaître à l'éditeur.

Tous droits réservés pour tous pays
Dépôt légal : D/2022/14.407/15
ISBN : 978-2-39038-142-6

