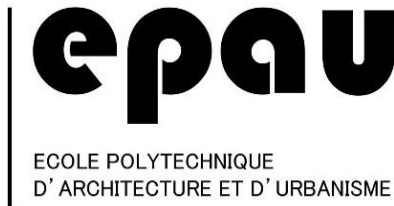


École Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme
El-Moudjahid Hocine Aït Ahmed
Laboratoire, ville, architecture et patrimoine



Le '*BIM*' au service du patrimoine

La Halle Volta comme cas d'étude
Mémoire de master académique
Option : Ville architecture et patrimoine

Présenté et soutenu le 04/03/2018 par :
M. Mohamed Zakaria KHELIFI

Président du Jury :

Examineur :

Rapporteur :

Devant le Jury composé de :

M. Rafik Brakchi

Docteur, maitre de conférences classe B, EPAU-Alger

M. Mohamed Bakour

Docteur, maitre de conférences classe B, EPAU-Alger

Mme. Fernini Assia

Maitre assistante classe A

M. B. Mounir Horra

Maître assistant, EPAU-Alger

Mars 2018.

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

(الْحَمْدُ لِلّٰهِ الَّذِي لَهُ مَا فِي السَّمٰوٰتِ وَمَا فِي الْاَرْضِ وَلَهُ الْحَمْدُ فِي الْاٰخِرَةِ وَهُوَ الْحَكِیْمُ الْخَبِیْرُ)

سبأ (1)

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à mon encadreur monsieur M. HORRA, maître-assistant à l'École Polytechnique D'architecture et d'Urbanisme, El-Moudjahid Hocine Aït Ahmed. Sa grande disponibilité, ses encouragements et ses orientations m'ont permis de conduire à bien la rédaction de ce mémoire.

Je profite de ces lignes pour remercier les membres du Jury d'évaluation de ce travail, à savoir : Messieurs R. Brakchi, M. Bakour, et Madame A. Ferrini.

Je remercie également monsieur A. Lemdani pour l'ensemble des documents graphiques qu'il m'a transmis et qui ont permis de mieux modéliser la maquette BFM de la Halle Volta.

Enfin, un grand merci à mes parents, mon frère et l'ensemble des membres de ma famille pour leurs encouragements, sacrifices et attentions. Votre présence m'a permis d'avancer et d'aboutir à ce mémoire.

ملخص

نعيش اليوم في عالم يتطور باستمرار، حيث التكنولوجيات الحديثة تسمح لنا بتسهيل نشاطات الإنسان والاقتراب من فعالية مثلى. تعتبر نمذجة معلومات المباني (BIM) واحدا من هذه التكنولوجيات إذ تسمح للفاعلين في قطاع البناء بالتعاون، محاكاة وتبادل المعلومات عن طريق نموذج افتراضي يسهل الوصول إليه. الأدوات المستعملة في المحاكاة المدمجة في هذا النظام تسمح بالعبور من مجرد تمثيل ثنائي أو ثلاثي الأبعاد إلى معطيات أكثر تعقيدا عن المشروع كالجداول الزمنية والكلفة مما يتيح الوصول إلى فضاء رباعي أو خماسي الأبعاد .

في نفس الوقت، ومحاكات مع المتغيرات الناتجة عن التطورات الحاصلة في العالم أصبح التكفل بالتراث يمثل أولوية الدول. فالوصول لمستقبل أفضل يتطلب فهم الماضي. وعليه فإن هذه المذكرة تناقش صرح معماري فريد من نوعه يعود الى نهاية القرن التاسع عشر المتمثل في **لاهال فولطا (halle Volta)**. هذا الصرح الذي ينتمي لما يسمى بالطراز الصناعي يتوفر على عدد خصائص من الناحية المعمارية، التاريخية والحضارية. ولكن مع الأسف فإننا نلاحظ شح المبادرات التي تهدف إلى التكفل بهذا التراث بسبب تجاهل الصفات الإيجابية للبناء مما يسبب تقادم وضعه الكارثي. يتمثل العمل الذي قمنا به في محاولة تطبيق نُظْم BIM على تسيير المباني التراثية من أجل تحقيق فعالية التكفل بهذا الإرث، الحفاظ عليه ومن ثَمَّ تثمينه لاستغلال أمثل. وقد بدأنا البحث بمحاولة تطبيق منهجية مونوغرافيا العمارة والتي تستعمل بشكل واسع كمنهجية بحث بالنسبة للتراث المعماري. وطبقنا المنهجية على مبنى "**لاهال فولطا**" محل الدراسة من أجل استخراج نقاط القوة الـ BIM من جهة، وكذلك النقاط التي لاحظنا فيها نقائص بالنسبة للمونوغرافية. وهذا من أجل استشراف رؤية مستقبلية تمكن من تحسين الأداء. يجدر الذكر هنا أن رغبتنا بالتحسيس بأهمية هذا الصرح المعماري الفريد يمثل جوهر الإشكالية المطروحة في هذا العمل كما يمثل نقطة انطلاق الفرضيات والأهداف التي رجونا الوصول إليها .

الكلمات المفتاحية : نمذجة معلومات المباني، لاهال فوطا، العمارة الصناعية، بيم، ريفيت، أركيكاد، أوتوكاد

Abstract

We live today in a world constantly evolving, new technologies allow us to enhance and facilitate human activities and bring us closer to optimal efficiency. Building information modeling (BIM) is one of this technologies, BIM allow building professionals to collaborate, simulate and exchange information's thanks to a digital model that are easily accessible. The tools used for simulations offered by this process allowed us to jump from simple 2D and 3D representations to other dimensions such as project times schedule and cost, introducing new concepts such as 4D and 5D models.

Meanwhile, facing this constant changes that are born from this evolution we must take care of our heritage and make it a priority. It is clear that we cannot aspire for a future without learning from our past. Thus this thesis has as a subject a special building dating to the end of the XIXth century, "La Halle Volta". An emblem of Algiers's industrial architecture features many qualities in the architectural, historical, and urban aspects. Unfortunately, we observe only few actions that aims to take in charge this heritage which suffers from a lack of acknowledge that in turn generate more degradation and risks for the durability of this building.

Our work aims to apply the BIM process in the fields of constructed heritage management throughout Algeria in order to improve the efficiency of interventions and in the same time safeguard and showcase our legacy. This translates to the use of this process to a largely acknowledged methodology in Algeria, the architectural monography will be applied to our case study in order to extract the points where BIM provides opportunities for the monography, the points where it displays weaknesses, and finally to assess new future development options. This points in conjunction with our engagement to showcasing this building, constitute the essence of our thesis problematic and the starting point for our hypothesis and objectives.

Key words: BIM, building information modeling, architecture, heritage, Halle, Halle Volta, industrial architecture, architectural monography, Algiers, HBIM, Hestorical BIM, CAD, 2D, 3D, 4D, 5D, Construction, monument, Building, Revit, Archicad, Autocad, laser surveying, heritage showcase, heritage management.

Résumé

On vit aujourd'hui dans un monde en constante évolution, les nouvelles technologies permettent d'améliorer et faciliter les activités humaines et de se rapprocher d'une efficacité optimale. Le '*Building Information Modeling*' abrégé '**BIM**' fait partie de ces technologies. Il permet aux acteurs du secteur du bâtiment de collaborer, simuler et échanger des informations à travers une maquette facilement accessible. Les outils de simulations offertes par cette solution numérique de maîtrise d'ouvrage ont permis de passer de la simple représentation 2D et 3D à une prise en charge d'autres dimensions du projet à l'exemple du temps et du coût et aboutir au concept de la maquette numérique 4D et 5D.

En parallèle, face à ce changement rapide engendré par cette évolution constante, la prise en charge du patrimoine représente une priorité. Il est clair que l'on ne peut espérer à un futur sans avoir appris de notre passé. De là, ce mémoire traite ainsi une dualité assez complexe : d'une part, un édifice assez particulier datant de la fin du XIXe siècle en l'occurrence la Halle Volta, cette construction emblématique d'une architecture industrielle présente des qualités nombreuses sur le plan architectural, historiques, urbain. Malheureusement, on constate peu d'actions de prise en charge de ce patrimoine industriel, face à une ignorance des qualités de cet édifice, ce qui engendre une dégradation qui pose un risque sur la durabilité de ce bien.

D'autre part, notre travail vise à appliquer le processus BIM à la gestion du patrimoine pour améliorer l'efficacité des interventions visant à sauvegarder et mettre en valeur les édifices. Ceci se traduit par l'application de ce processus à une méthodologie souvent employé chez nous dans ce domaine, à savoir la monographie d'architecture. Cette méthodologie a été appliquée au cas d'étude afin de pouvoir tirer les points où le BIM peut apporter un plus à la monographie d'architecture, les points où le BIM présente des faiblesses et enfin aboutir à des pistes de développement future. Ces points en plus du souhait de sensibiliser sur cet édifice constituent l'essence même de notre problématique et un point de départ pour nos hypothèses et objectifs.

Mots clés : maquette numérique, Halle Volta, architecture industrielle, BIM, HBIM, Revit, Archicad, Autocad,

SOMMAIRE

Remerciements	-----	
ملخص	-----	
Abstract	-----	
Résumé	-----	
SOMMAIRE	-----	
TABLE DES ILLUSTRATIONS :	-----	
LISTE DES ANNEXES :	-----	
Chapitre introductif :	-----	1
1. Introduction générale :	-----	2
2. Problématiques, hypothèse, objectifs et méthodologie :	-----	6
Chapitre 1 : Le BIM une révolution technologique dans le secteur du bâtiment	-----	9
1. Le BIM aujourd’hui, contexte et atouts :	-----	10
2. Le BIM Histoire et origines :	-----	14
3. Le BIM, un processus englobant plusieurs concepts :	-----	17
Chapitre 2 : Le BIM appliqué au patrimoine, expériences et perspectives.	-----	28
1. L’application du BIM au patrimoine Aujourd’hui :	-----	29
2. Analyse d’exemples d’application du BIM au patrimoine :	-----	31
Chapitre 3 : Application du BIM à la monographie d’architecture cas d’étude Halle Volta	-----	42
1. Introduction la monographie d’architecture et au processus BIM intégré :	-----	43
2. L’apport du BIM à la recherche historique en monographie d’architecture :	-----	46
1. L’apport du BIM dans le relevé de la monographie d’architecture :	-----	56
3. L’apport du BIM à la description en monographie d’architecture :	-----	62
4. Le BIM comme outil de synthèse en monographie d’architecture :	-----	73
Conclusion : résultats, limites et perspectives de la recherche	-----	76
Bibliographie :	-----	82

TABLE DES ILLUSTRATIONS :

FIGURE 1: EXEMPLE DE MODELISATION TYPE BIM SOUS ARCHICAD 20®	4
FIGURE 2: EXEMPLE DE VISITE VIRTUELLE SUR UN NUAGE DE POINT.	5
FIGURE 3: L'ECHANGE D'INFORMATION SELON LE PROCESSUS DE CONSTRUCTION TRADITIONNEL	11
FIGURE 4: USAGES DU BIM A TRAVERS LE CYCLE DE VIE D'UN OUVRAGE DE CONSTRUCTION.	13
FIGURE 5: IVAN SUTHERLAND PRESENTANT SKETCHPAD AVEC LE LIGHTPEN, M.I.T, 1963.....	14
FIGURE 6: INTERFACE DU LOGICIEL REVIT ARCHITECTURE 2017.1.	17
FIGURE 7: COURBES DE PATRICK MACLEAMY	18
FIGURE 8: ÉVOLUTION DU PROCESSUS DE CONCEPTION EN CONSTRUCTION VERS LE BIM.....	20
FIGURE 9: EXEMPLE D'UN PROFILE METALLIQUE STRUCTUREL REPRESENTE SELON LES DIFFERENTES SPECIFICATIONS LOD.....	23
FIGURE 10: DIAGRAMME DE NIVEAU DE MATURETE BIM DE BEW-RICHARDS.....	25
FIGURE 11: EXEMPLE DE LA LISTE DE PARAMETRES INCLUE DANS UN MODELEE HBIM.	27
FIGURE 12: FAÇADE DU BUREAU DE POSTE DE DUNDEE EN SCOTLAND, LES SCULPTURES PRESENTE UNE GEOMETRIE COMPLEXE.	32
FIGURE 13: LES ETAPES DE L'INTEGRATION DE LA STATUE DANS LA MAQUETTE.	34
FIGURE 14: EXEMPLE DE VISUALISATION DE NUAGE DE POINT SUR NAVIGATEUR WEB.....	35
FIGURE 15: LES OBJETS SENSIBLES ET LES VOLUMES IMPORTANTS CREENT DES OBSTACLES POUR LES SCANNERS LASERS.	36
FIGURE 16: INLAND STEEL BUILDING, CHICAGO.	38
FIGURE 17: PROPOSITIONS D'ENVELOPPE DE L'IMMEUBLE INLAND STEEL BUILDING.	39
FIGURE 18: LE MUR RIDEAU EXISTANT, LE MUR RIDEAU DOUBLE PEAU ET LA SIMULATION DES GAINS SOLAIRES EN HIVER.	39
FIGURE 19: UTILISATION DES PLAN DAO AUTOCAD POUR GENERER LA MAQUETTE BIM SUR REVIT.....	41
FIGURE 20: PHOTO ACTUELLE DE LA FAÇADE OUEST DE LA HALLE VOLTA.....	43
FIGURE 21: PLAQUE COMMEMORATIVE PLAQUE SUR LA FAÇADE SUD DE LA HALLE,.....	47
FIGURE 22: EXTRAIT DU SOMMAIRE DE LA SPECIFICATION LOD 2013. ON CONSTATE LA COMPLEXITE DU SYSTEME ET SA RICHESSE.	49
FIGURE 23: CREATION & RENSEIGNEMENT DES PARAMETRES RELATIFS A LA FICHE HISTORIQUE DE L'EDIFICE SUR REVIT.	50
FIGURE 24: CREATION ET RENSEIGNEMENT DU PARAMETRE RELATIF A LA DATATION DES ELEMENTS SUR REVIT 2017.....	51
FIGURE 25: AXONOMETRIE GENEREE PAR REVIT 2018.....	52
FIGURE 26: SCHEMA DE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN PLUGIN POUR REVIT	53
FIGURE 27: INTEGRATION DES PHOTOGRAPHIES PRISES DE LA PLAQUETTE COMMEMORATIVE SUR REVIT 2017.....	56
FIGURE 28: UTILISATION DE LA COMMANDE EMBLEMEMENT ET PIVOTER	57
FIGURE 29: MODIFICATION DU PLAN DE COUPE ET DE LA PLAGE DE LA VUE.	59
FIGURE 30: UTILISATION DES PARAMETRES DU SOLEIL POUR SIMULER L'OMBRE PROJETE SUR LA FAÇADE AU SOLISTICE D'HIVER.	60
FIGURE 31: PROPRIETES D'UN MUR SUR REVIT®2017 (GAUCHE) ET AUTOCAD® 2017 (DROITE)	61
FIGURE 32: REGLAGE DES PARAMETRES DU SOLEIL SUR REVIT 2017 POUR ETUDIER L'OMBRE PORTEE SUR LA HALLE.....	64
FIGURE 33: REPRESENTATION DES DIFFERENTS MODES D'APPAREILLAGE DES MURS COMPOSANTS UNE FAÇADE LA HALLE VOLA.....	66
FIGURE 34: REPRESENTATION DE L'ÉTAT DES VITRES COMPOSANT LA PARTIE HAUTE DE LA FAÇADE SUD DE LA HALLE VOLTA.	66
FIGURE 35: COMPOSITION DE LA FERME POLONCEAU SUPPORTANT LA COUVERTURE DE LA HALLE VOLTA.	67
FIGURE 36: REPRESENTATION DU MODELE ANALYTIQUE DE LA STRUCTURE DE LA HALLE VOLTA GENERE PAR REVIT 2017.....	68
FIGURE 37: INTEGRATION DE PHOTOS A UN ELEMENT DE LA MAQUETTE NUMERIQUE SUR REVIT 2017.	70
FIGURE 38: MISE EN PLACE DES PARAMETRES DE PROJET APPROPRIES A LA DESCRIPTION SUR REVIT 2017.	71
FIGURE 39: FICHE D'INFORMATIONS DU PROJET COMPORTANT LES TEXTES DESCRIPTIFS DE L'EDIFICE SUR LE LOGICIEL REVIT 2017.	72
FIGURE 40: LE MOTEUR DE RECHERCHE BASE SUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE BIXBY DE SAMSUNG	74
FIGURE 41: SCHEMA DE PRINCIPE DE SOLUTIONS D'ANALYSE D'EDIFICE BASEES SUR LE BIM ET L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE.....	75
FIGURE 42: TABLEAU ILLUSTRANT LES USAGES ET APPORTS POSSIBLES DU BIM A LA PREMIERE PARTIE DE LA MONOGRAPHIE.	77
FIGURE 43: SCHEMA RESUMANT LE GAIN DE PERFORMANCE DES PROCESSEURS DE 8EME GENERATION D'INTEL.	79

LISTE DES ANNEXES :

- Annexe 01 :** Plan masse de la Halle Volta échelle 1/500^e.
 - Annexe 02 :** Plan d'étage de la Halle Volta échelle 1/200^e.
 - Annexe 03 :** Élévation Sud de la Halle Volta échelle 1/200^e.
 - Annexe 04 :** Élévation Nord de la Halle Volta échelle 1/200^e.
 - Annexe 05 :** Élévation Est et Ouest de la Halle Volta échelle 1/200^e.
 - Annexe 06 :** Coupe AA de la Halle Volta échelle 1/200^e.
 - Annexe 07 :** Coupe BB de la Halle Volta échelle 1/200^e.
 - Annexe 08 :** Axonométrie générale de la Halle Volta échelle 1/200^e.
 - Annexe 09 :** Axonométrie de la structure et des assemblages de la Halle Volta échelle 1/200^e.
 - Annexe 10 :** Composition de la façade sud de la Halle Volta échelle 1/200^e.
 - Annexe 11 :** Axonométrie éclatée du système de couverture de la Halle Volta échelle 1/200^e.
-

Chapitre introductif :

1. Introduction générale :

Le patrimoine immobilier¹ en Algérie riche et varié, datant de plusieurs époques historiques, nécessite une mise en valeur et une gestion efficace pour assurer sa pérennité dans le temps et préserver les pans d'histoire de notre nation. Ce patrimoine susceptible au classement ou non, doit être intégré au processus de développement du pays afin d'enrichir l'offre touristique et profiter ainsi à l'économie.

Cependant, aussi riche qu'est notre patrimoine bâti, le terrain dégage un constat amère et un état précaire de conservation et de mise en valeur et cela malgré la mise en place d'un important arsenal juridique² censé le protéger. Interventions sans assises, anarchie, absence de collaboration intersectorielle et interdisciplinaire, conjugué à une réglementation pas toujours au point et mal appliquée, font que cette richesse peu valorisée tourne, ainsi son dos au public.

Par ailleurs, de nos jours la société où on vit, est marquée par la montée exponentielle de l'usage du numérique et du virtuel. Aidé par la vulgarisation des terminaux mobile d'une part et la démocratisation de l'internet³, l'outil numérique propose des solutions qui améliorent notre quotidien et facilite l'ensemble des activités humaines. Comme ce fut le cas de l'imprimerie de Gutenberg⁴ au XVe siècle ou la machine à vapeur de Watt⁵ trois siècles plus tard, cet outil révolutionnaire du XXIe siècle assure une efficacité accrue et un gain en temps et en efforts importants. Notre monde actuel est de plus en plus connecté, avec des objets intelligents⁶ où l'information est la devise qui garantit l'épanouissement de toute nation qui se veut en ligne avec son temps. L'outil informatique trouve ainsi tout son sens afin de répondre à des enjeux d'efficacité et développement durable.

¹ Est considéré comme patrimoine immobilier : les monuments historiques, les sites archéologiques, les ensembles urbains ou ruraux. Art.8, loi 98-04, relative à la protection du patrimoine culturel, Secrétariat Général du Gouvernement (1998: 04)

² La loi 98-04 relatif au patrimoine culturel de la nation, ainsi que l'ensemble de ses décrets y afférents instaurent d'important instruments et dispositifs de conservation tel que l'Inscription sur l'inventaire supplémentaire, le classement, la création en « secteurs sauvegardés ». Secrétariat Général du Gouvernement (1998)

³ À travers l'ADSL, mais encore plus depuis l'arrivée de l'internet mobile avec la 3G et la 4G. Source : Internet Society (2016)

⁴ Lavoisy (2016a)

⁵ Lavoisy (2016b)

⁶ Objets qui améliorent l'interaction non seulement avec les utilisateurs mais aussi les autres objets intelligents. Le terme d'Intelligence Artificielle date des années 1960. Il est attribuée à Marvin Minsky du MIT, avec en particulier son article intitulé Steps toward Artificial Intelligence.

Depuis on cherche, sans grand succès, à définir ce qu'est l'Intelligence Artificielle. Torre (2016)

À l'image des autres domaines, le recours à l'usage des outils informatiques et de communication dans notre discipline est de plus en plus important. En effet, bien que les concepts⁷ que l'on utilise de nos jours soient bien antérieurs, Cet outil s'est introduit en architecture dès l'arrivée des premières ordinateurs personnels au service du grand public dans les années quatre-vingt (1980)⁸.

Ainsi, les premières solutions grand-public virent le jour en décembre 1982 avec la sortie de la première version du célèbre logiciel AutoCAD®, un programme destiné essentiellement au monde du génie mécanique mais qui sera par la suite le logiciel d'architecture par excellence⁹. À peine trois ans plus tard, arrive le premier programme CAD spécialisé dans le domaine. Il s'agit du célèbre logiciel et principal concurrent du premier, à savoir ArchiCAD® (Figure 1) développé par la société hongroise Graphisoft®. Comme son nom l'indique, il s'agit d'un programme CAD¹⁰, destinée aux architectes essentiellement. C'est là que naquirent les premières maquettes numériques¹¹ de bâtiment et avec elles, les germes de ce concept, communément appelés aujourd'hui BIM dans le jargon actuel.

Depuis, le concept BIM, « *Building information modeling* » ou maquette numérique est adopté par l'ensemble de la communauté des architectes. En effet, le BIM trouve une application pratique qui permettra de mieux gérer le processus de production architectural. En outre, on peut définir la technologie dite BIM comme étant le « *processus qui implique la création et l'utilisation d'un modèle 3D intelligent pour prendre de meilleures décisions concernant un projet et les communiquer* »¹².

De nos jours, le « *Building information modeling* » est devenu un outil indispensable, souvent exigé dans des pays avancés, il est généralement utilisé pour la conception, la réalisation et la gestion de nouveaux projets de construction. Cependant, de nouvelles approches récentes permettent de l'adapter aux enjeux du patrimoine. C'est ainsi que sont

⁷ Entre autres : le CAO, puis DAO, et actuellement le BIM

⁸ «*The IBM PC*» est considéré comme le premier ordinateur personnel grand public. IBM (2003)

⁹ Autocad 1982 et FEAP 1970 furent les premiers logiciels destinés au domaine de la construction, Source : Lincoln and Syed (2010)

¹⁰ Acronyme de Computer-aided design, en français : dessin assisté par ordinateur ou DAO. Cambridge Dictionary (2017)

¹¹ Lincoln and Syed (2010)

¹² Autodesk (2016b)

nées de nouvelles notions tel le « *Historic building information modeling* » (HBIM)¹³ et le « *Existant building information modeling* » (EBIM)¹⁴.

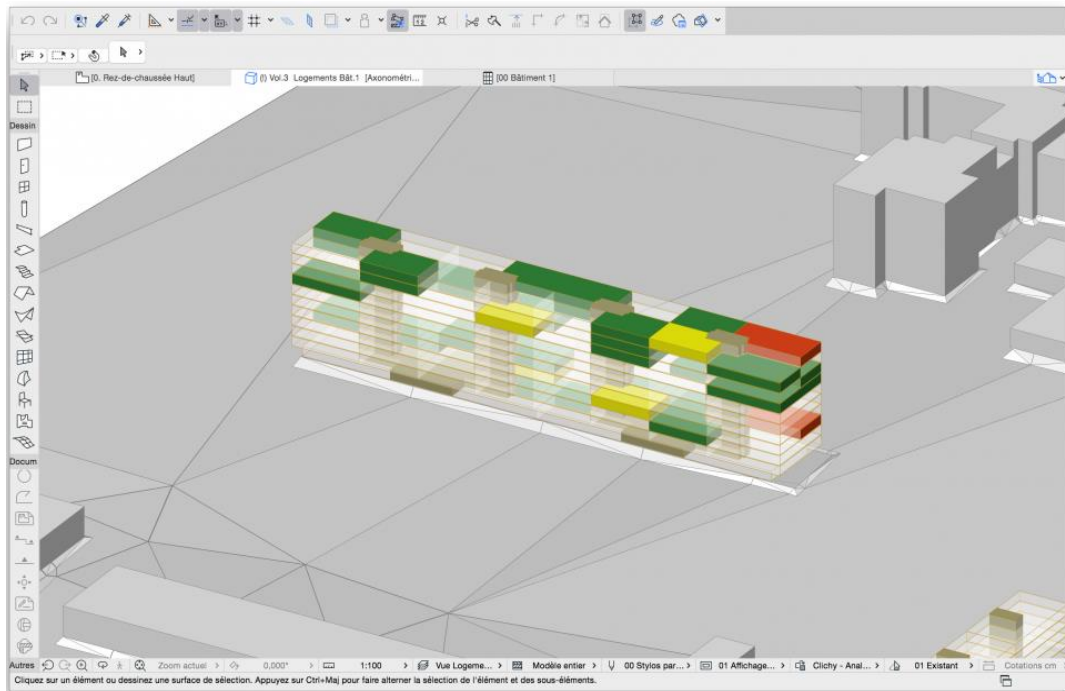


Figure 1: exemple de modélisation type BIM sous ArchiCAD 20®

Source : <https://archicad.fr/wp-content/uploads/sites/84/2016/06/N5-Interface-Francais-1030x672.png>,
Atelier 11, Clichy sous-bois

Ainsi, l'HBIM est définie comme étant une approche nouvelle où des objets interactifs et paramétriques représentant des éléments architecturaux sont construits à partir de données historiques, qui sont ensuite placés dans un nuage de point issu d'un balayage laser. C'est grâce au geometric descriptive language GDL¹⁵, que l'on a pu traduire ces données historiques en maquettes numériques :

« *La conception et les détails des objets paramétriques est basée sur des manuscrits, de Vitruve à Palladio en plus des livres des modèles architecturaux du XVIIe siècle. L'architecture de la renaissance a introduit et documenté des règles assez avancées pour la production d'éléments architecturaux, qui supportent aujourd'hui la conception paramétrique. L'usage de données historiques introduit l'opportunité de développer des détails qui dépassent la surface scannée, pour introduire les méthodes de constructions, et les matériaux de composition dans la dernière étape du processus de l'HBIM* »¹⁶.

¹³ Prototype d'une bibliothèque d'objets paramétriques basée sur des données historiques et un système de plateformes croisées pour le mappage de ces objets dans un nuage de point ou des images.

¹⁴ Permet la création de maquette numérique de l'existant pour mieux le gérer et intervenir dessus.

¹⁵ Langage informatique qui permet de décrire des objets paramétriques dans l'espace, utilisé à titre d'exemple dans ArchiCAD®.

¹⁶ Murphy *et al.* (2013)

Dans l'approche HBIM, il s'agit plus d'une intégration de données de structure, d'appartenance à l'arborescence générale du projet et de texture. Ce qui fait du résultat de cette méthode une véritable maquette BIM. Contrairement aux autres approches de balayages laser le HBIM permet de dépasser le stade de maquette numérique d'exposition, à un stade de production de l'ensemble des documents techniques (élévation, plans, coupes, détails et représentation 3D).

Ainsi la maquette numérique peut contribuer à sauvegarder et mettre en valeur le patrimoine. Ceci à travers la création des documents nécessaires pour d'éventuelles interventions, l'obtention de copies numériques nécessaires pour la restauration, face aux aléas et risques qui peuvent impacter les édifices.

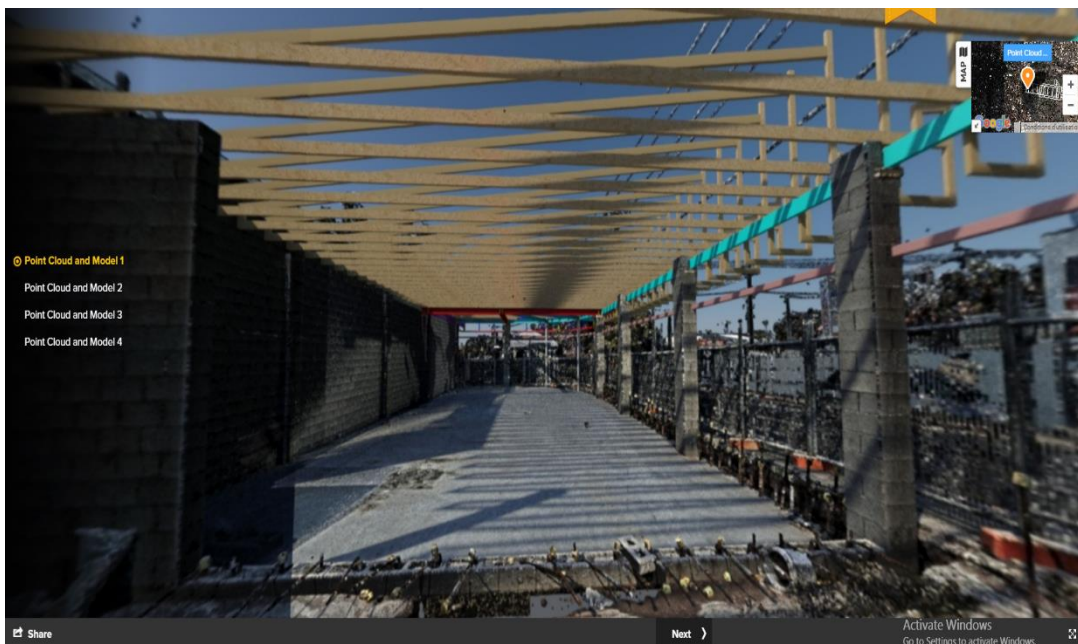


Figure 2: Exemple de visite virtuelle sur un nuage de point.

Source: http://www.youvisit.com/tour/c3dc/new_tour_4, Building site Virtuel tour

L'exposition à distance via internet et la création de visites virtuelles (Figure 2) ouvertes au public à travers le monde, ce qui peut engendrer un intérêt et sensibiliser à l'importance du patrimoine bâtis et ainsi améliorer l'attractivité et créer une richesse grâce au flux de visiteurs et touristes.

De même, elle peut aussi Faciliter la gestion du patrimoine en créant des fiches intelligentes détaillées pour chaque édifice¹⁷. Ces fiches vont contenir l'ensemble des

¹⁷Exemple des lycées Bonaparte site Leclerc et Montchapet, où Archimen Ingénierie a intervenu pour faciliter la gestion du patrimoine de la commune. Vervandier (2016)

opérations programmées pour l'entretien et indiquent d'une façon automatique l'ensemble des données qui peuvent altérer la durée de vie d'un élément tel l'humidité et la température afin de pouvoir rapidement trouver des solutions et minimiser les dommages.

L'utilisation du processus BIM a permis aussi d'avoir des interventions en douceur et le concept du Lean Manufacturing¹⁸ sans perturber l'usage du bâtiment grâce à une simulation de l'ensemble des travaux pour optimiser le processus et ainsi réduire les coûts et avoir des gains en temps très importants¹⁹. Dans ce sens une recherche en Suède menée par Jongeling et Olofsson²⁰ conduite en 2007 indiquait qu'uniquement 15% à 20% du temps nécessaire à la réalisation d'un projet est utilisé pour effectuer les activités planifier. Ceci démontre le potentiel d'amélioration en termes d'efficacité que peut connaître le secteur de la construction.

2. Problématiques, hypothèse, objectifs et méthodologie :

Partant du postulat qui mettrait le BIM comme étant un outil révolutionnaire et qui gagne de jour en jour du terrain dans le secteur de l'architecture, ingénierie et construction (AEC)²¹, ce travail cherche à identifier l'intérêt de l'adoption d'une approche basée sur le *Building information modeling* au **patrimoine en Algérie**. Autrement dit, ce travail de recherche, vise à identifier les points positifs et négatifs que peut apporter cet outil au processus de documentation, de gestion, de préservation et de mise en valeur du patrimoine bâtis en Algérie.

Le choix du cas d'étude²² qui est de caractère industriel datant de l'époque coloniale s'explique en premier lieu par le fait qu'il est composé d'un ensemble d'éléments répétitifs agencés selon une logique d'hierarchie dictée par le mode de production et de réalisation de l'époque, ce qui représente un point de départ pour la mise en place d'une base de données adaptée au processus BIM. Rappelons-le, cet édifice n'est pas répertorié

¹⁸ Permet de mieux estimer les coûts, de les réduire, d'avoir une cohérence dans le projet, de mieux gérer l'entretien et de réduire les risques. Vervandier (2016)

¹⁹ À l'exemple du projet d'intervention sur le métro de Londres entre Bond Street et Baker Street, le coût a été réduit de 15%, et un gain de 4 mois de travaux, et une réutilisation de 77% des équipements existants. Pratt (2016)

²⁰ Bhargav (2013)

²¹ Le secteur de la construction exploite les nouvelles technologies pour essayer de réduire les coûts et le temps nécessaire pour la réalisation des projets, Le BIM étant un outil révolutionnaire connaît un taux d'adoption de plus en plus important. Ahmed (2015)

²² Œuvre des ateliers Haumont nord datant de la fin du XIX^{ème} siècle, la halle s'inscrit dans l'histoire de l'ère industrielle en Algérie. Kebir (2016)

dans la liste des édifices classés, ceci malgré ses qualités et sa singularité symbole d'une architecture et d'une époque. Nous ne traitons pas ce volet, qui a fait l'objet de travaux de recherches antérieurs et en cours²³

De ce fait, notre travail vise à sensibiliser sur l'intérêt de cet édifice et constituer une base monographique pour un éventuel dossier de classement révolutionnaire²⁴. Dans ce cas la monographie va servir le BIM et le BIM va révolutionner la monographie et le dossier de classement y afférant. Ainsi La problématique de ce mémoire est : Comment apprécier l'intérêt, les implications, les atouts et faiblesses engendrés par l'application du processus BIM au domaine du patrimoine bâtis en Algérie à travers une monographie d'architecture de la *Halle Volta* ?

Ce travail se base sur des hypothèses qui permettent d'initier la réflexion et de dessiner des pistes d'investigation scientifique. Les hypothèses sont :

- Le BIM pourrait devenir un outil de documentation, d'évaluation de gestion et sauvegarde du patrimoine bâtis en Algérie.
- Le BIM offrirait plus d'atouts que d'inconvénient et permettrait-il de faciliter le travail de la monographie d'architecture.
- L'application du processus BIM à une monographie d'architecture de la *halle volta* permettrait de mieux la mettre en valeur et constituer une base pour un éventuel dossier de classement.

Les objectifs qu'on peut ainsi dresser au préalable visent à comprendre le processus BIM dans son sens large et ses implications sur le secteur du bâtiment. Pour ensuite établir les éventuelles possibilités que peut offrir le BIM au secteur de la sauvegarde du patrimoine bâtis. Pour mieux illustrer ces possibilités le dessein étant d'appliquer l'ensemble des connaissances assimilées à une ressource patrimoniale de l'aire industrielle située à Alger²⁵ en créant une maquette numérique qui pourrait être exploité dans le cadre d'une opération de réhabilitation et par la suite dans la gestion de l'édifice²⁶.

²³ Kebir (2016)

²⁴ On peut imaginer des échanges électroniques basés sur le processus BIM entre les équipes chargées de l'étude des édifices et le ministère de la culture pour le classement de ces bâtiments.

²⁵ La ville d'Alger ayant connue un processus de croissance en couronne à partir de la casbah, où souvent l'industrie représentait l'étape intermédiaire entre l'exploitation agricole du territoire et son urbanisation.

²⁶ BIM Forum (2013)

Pour ensuite permettre la mise en valeur de l'édifice grâce aux supports numériques et la diffusion de l'information pour sensibiliser le public sur l'intérêt de cet œuvre²⁷. Et enfin d'essayer à travers cette recherche de souligner les points qui peuvent être adaptés et améliorés pour mieux prendre en charge les spécificités du contexte algérien et initier une démarche qui permettrait de mieux prendre en charge notre patrimoine.

Plus concrètement les objectifs de ce travail sont :

- Comprendre le BIM dans son sens large, l'intérêt de cet outil et les perspectives qu'il offre.
- Définir les possibilités éventuelles que peut offrir le BIM une fois appliqué au patrimoine bâti et les points à adapter pour mieux prendre en charge les spécificités de ce domaine.
- Utiliser le BIM comme outil de mise en valeur et de diffusion de l'information pour sensibiliser sur l'intérêt du point de vue architectural et historique de la *Halle Volta*.

Pour la mener scientifiquement, cette recherche s'appuie sur une méthodologie de travail divisée en deux parties :

Partie théorique :

Basée sur la recherche bibliographique²⁸ pour disposer des connaissances de base nécessaires à la compréhension du Building information modeling et sa mise en place ultérieurement dans notre travail au profit du patrimoine.

Partie pratique :

Appliquer une étude de confrontation à travers la capitalisation des connaissances acquises dans la partie théorique à une méthodologie utilisée souvent dans le domaine du patrimoine, à savoir la *monographie d'architecture*²⁹, La *Halle Volta* qui fera l'objet de cette monographie servira d'exemple d'application sur le terrain de cette approche pour répondre à la problématique posée dans ce travail.

²⁷ L'agence nationale des secteurs sauvegardés a pour mission la sensibilisation sur l'intérêt du patrimoine bâtis pour mieux le préserver. Décret exécutif n° 11-02, Secrétariat Général du Gouvernement (2011)

²⁸ Charles Mortet définit la bibliographie comme étant " l'étude des répertoires dans lesquels les livres sont décrits et classés et auxquels on doit constamment recourir soit pour identifier des livres, soit pour s'enquérir de ce qui a été publié sur un sujet » Malclès and Lhéritier (1976)

²⁹ Pérouse De Montclos (2002)

Chapitre 1 : Le BIM une révolution technologique dans le secteur du bâtiment

1. Le BIM aujourd'hui, contexte et atouts :

Face à un paysage mondial en changement constant grâce à des moyens de transports plus rapide et une diffusion instantanée de l'information, de nouvelles puissances économiques émergent et profitent d'une dynamique qui se focalise sur l'efficacité, l'accès à l'information et la durabilité.

La question de durabilité qui trouve ces racines dans la prise de conscience qu'a connu le monde dès le début des années 70, suite à la découverte des méfaits du modèle économique basé sur la croissance, qui ne pouvait plus être soutenu par les ressources limitées de la planète, se traduit aujourd'hui par un ensemble de chartes et accords qui visent à réduire l'impact écologique et optimiser l'utilisation de ces ressources pour un nouveau modèle économique basé sur la durabilité.

Dans le cadre de ces efforts, l'accord de Paris ratifié par 197 pays, le 5 octobre 2016 a pour objectif de réunir l'ensemble des nations pour combattre le changement climatique et garder l'augmentation de la température de la planète durant ce siècle en dessous du seuil critique de 2 degrés Celsius³⁰. Ceci se traduit par un ensemble d'actions et de mécanismes touchant l'ensemble des secteurs économiques.

Ainsi, le secteur du bâtiment qui représente un fardeau important sur l'environnement devrait s'inscrire dans ce mécanisme global en optimisant l'utilisation des ressources non renouvelables et réduisant au minimum les émissions de gaz à effet de serre. Pour cela une nouvelle approche de gestion du cycle de vie du bâtiment, depuis sa conception et jusqu'à sa démolition devrait être adopté pour permettre de répondre à ces objectifs.

Citant à titre d'exemple qu'aux États-Unis on estime que 38% des émissions de carbone dues à l'activité humaine sont issues du secteur du bâtiment qui présente un total de 72% de l'énergie consommée³¹ au pays, en plus d'une quantité importante de déchets générée par cette activité avec 37% de matériaux perdus et non recyclable³².

Sans oublier la gestion et l'exploitation du projet une fois réalisé, une gestion qui représente jusqu'à 75% du coût total de ce dernier³³ et qui peut être revu à la baisse si

³⁰ United Nations Framework Convention on Climate Change (2017)

³¹ Naroura (2014)

³² Naroura (2014)

³³ Naroura (2014)

l'optimisation du bâtiment a été au centre d'intérêt des intervenants dès le début du processus de conception.

Dans cette même optique de performance se pose la question de la communication entre les acteurs eux même, et le maitre d'ouvrage. En effet un processus d'échange d'informations bien ficelé implique une réduction du temps perdu et du risque d'altération de l'information transmise d'une plateforme à une autre. Le processus classique schématisé dans la (Figure 3), implique l'attribution d'une tâche à chaque acteur et une part de responsabilité va à l'encontre de la collaboration et de l'échange et divise ainsi les parties impliquées et découpe le processus du projet en séquences³⁴.

La communication ne devrait pas être limitée à l'équipe chargée de la mise en œuvre du projet et de sa gestion, mais devrait impliquer les usagers potentiels du projet et s'inscrire dans une optique de travail en concertation pour mieux prendre en charge les besoins et générer un sentiment d'appartenance et d'appropriation de l'espace bâtis qui permettra de mieux intégrer l'ouvrage dans son contexte social.

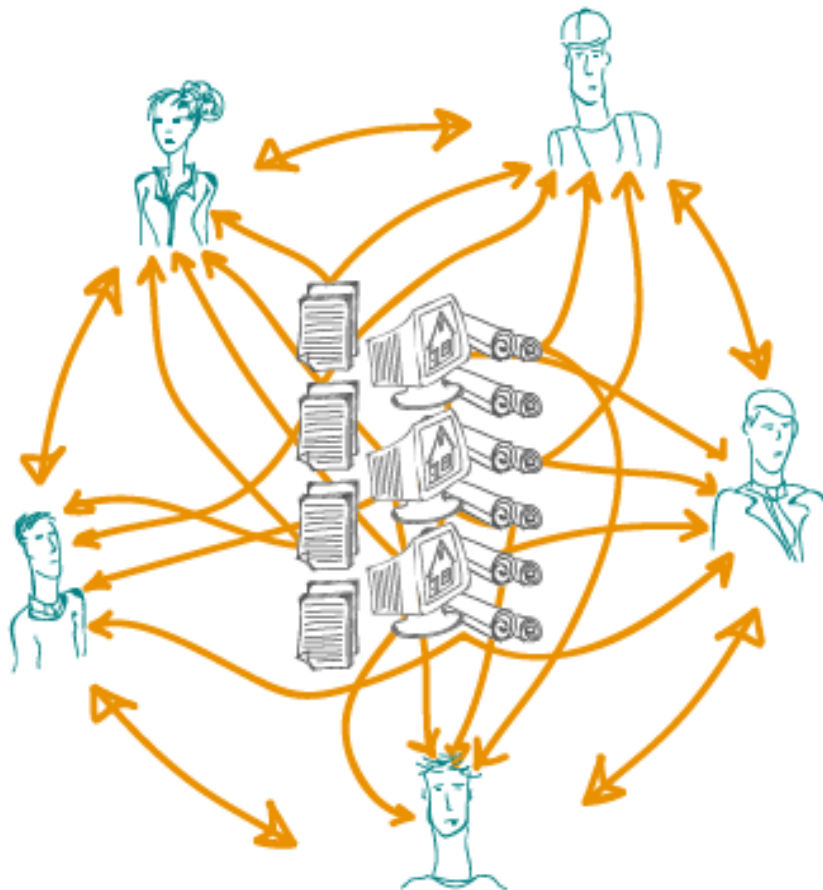


Figure 3: L'échange d'information selon le processus de construction traditionnel.
Source : CSTC, « Un regard éclairant sur le BIM », <http://www.cstc.be/> (29 mars 2017).

³⁴ CSTC-Contact (2017)

En prenant en charge l'ensemble de ces enjeux économiques, sociaux et environnementaux qui représente les trois piliers du développement durable à travers un équilibre délicat dans la production du cadre bâti on pourra répondre aux objectifs fixés dans l'accord de Paris et préserver l'environnement et les ressources de la planète pour les générations futures et ainsi promouvoir une meilleure qualité de vie.

Face à l'ensemble de ces enjeux et ces exigences de performance, un outil novateur entre en scène. Il s'agit de ce que l'on appelle communément « *le BIM* ». Acronyme de « *Building information modeling* », cette manière d'appréhender le processus de la maîtrise d'ouvrage du début à la fin, permet d'atteindre ces objectifs et offre de nouvelles possibilités et une nouvelle vision novatrice du processus de conception, de réalisation et de gestion. Par essence, le BIM est un outil dynamique adaptable au contexte aux profils des différents intervenants. Il permet d'offrir une plateforme d'échange de données et de coordination entre l'ensemble des acteurs, qui peuvent intervenir dans le cycle de vie du bâtiment et ainsi offre une traçabilité des informations accumulées durant ce cycle.

En effet la centralisation des apports des différentes disciplines dans une ou plusieurs maquettes numériques qui disposent d'une nomenclature fixée au préalable et/ou reconnue par l'ensemble des acteurs selon une norme interne ou globale, permet de réduire les conflits et faciliter la collaboration tout en assurant une lisibilité aisée du contenu. Ainsi même dans le cadre d'intervention future il serait possible de mettre à jour la maquette numérique selon l'évolution du projet dans son cycle de vie (Figure 4), voir même après sa démolition.

Ces informations peuvent être diffusées aux éventuels usagers pour assurer un véritable processus de concertation³⁵ et recueillir les avis et remarques à travers une simulation et ainsi assurer une meilleure prise en charge des besoins. Ils peuvent aussi être mis à la disposition des urbanistes des chercheurs et autres acteurs de la construction afin de mieux comprendre la ville et l'étudier pour proposer des solutions aux problèmes posés et améliorer l'urbanité et la qualité de vie. Mais aussi, diffusés au grand public pour promouvoir le patrimoine et les œuvres particulières et le sensibiliser par rapport à son cadre bâti.

³⁵ À l'exemple des zones d'aménagement concertées en France mises en place suite à la loi n° 67-1253 qui a permis d'intégrer les habitants et associations locales dans le processus d'aménagement initié par les pouvoirs publics. Est Ensemble Grand Paris (2012)

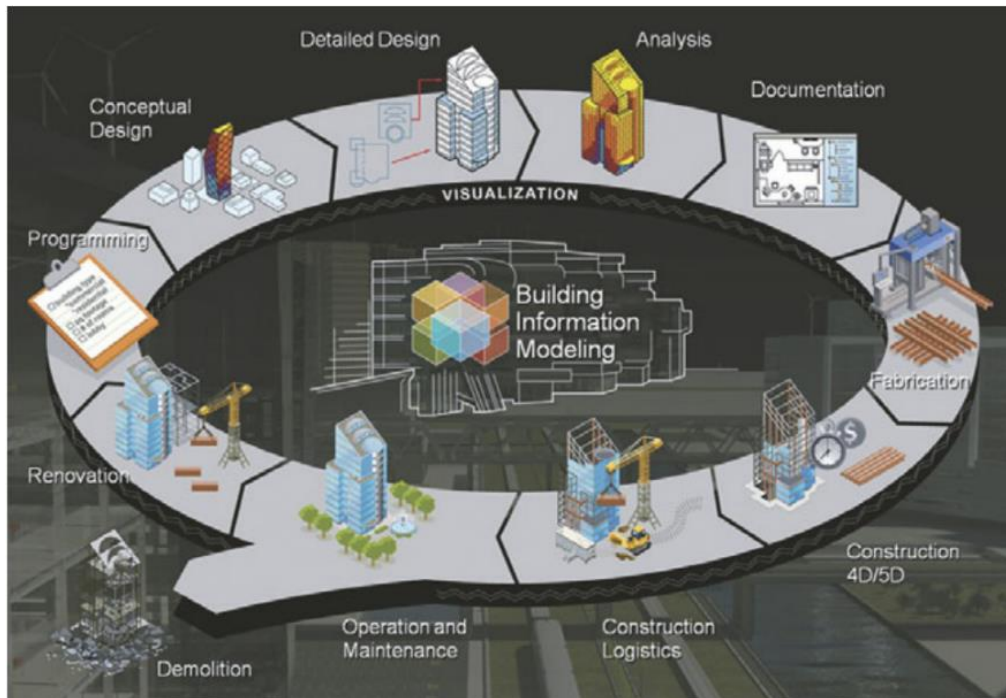


Figure 4: Usages du BIM à travers le cycle de vie d'un ouvrage de construction.
Source : Autodesk 2014

Le BIM peut aussi servir de base pour une étude économique d'un projet et une simulation des coûts et de la rentabilité de ce dernier pour une meilleure prise de décision. Il pourrait éventuellement servir d'élément de démonstration de l'impact d'un projet et de son intérêt au profit de campagne de crowdfunding « financement participatif d'un projet à l'aide de plusieurs contributions financières de la parts d'un public large à l'aide de campagne sur internet »³⁶ et ainsi toucher un éventail plus large d'investisseurs potentiels.

Les outils de simulation intégrés permettent de simuler l'ensemble des paramètres énergétiques du projet pour déterminer la consommation et les déperditions dues aux différents phénomènes thermiques³⁷, mais aussi de développer des outils de vérification de l'aptitude du bâtiment à résister à des efforts externes et à répondre à des normes spécifiques³⁸. La gestion du patrimoine dans son sens large³⁹ profite de cet outil pour contrôler les carnets d'entretien et de garantie⁴⁰ et prévoir les opérations de conservations et de changement des appareils pour s'assurer du bon fonctionnement des équipements et de leur durabilité dans le temps.

³⁶ Prive (2012)

³⁷ À savoir les déperditions dus aux ponts de chaleurs, aux caractéristiques de matériaux et l'étude de l'effet d'îlot de chaleur urbain et la compacité du projet.

³⁸ À l'exemple des simulations d'évacuation en cas d'urgence selon les normes de sécurité.

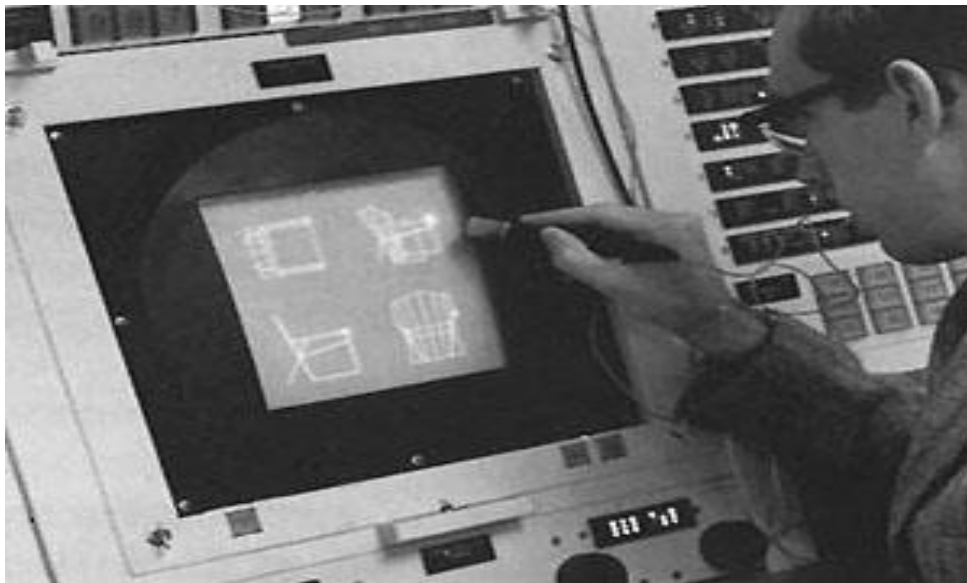
³⁹ Ne se limite pas aux biens ayant une valeur historique mais s'étend vers l'ensemble du patrimoine géré par un organisme à l'exemple des bâtiments dépendants d'une collectivité locale.

⁴⁰ Vervandier (2016)

2. Le BIM Histoire et origines :

Une rétrospective des moments clés du développement fulgurant qu'a connu l'informatique et les technologies de communication durant la deuxième partie du XXème siècle nous permettra de mieux comprendre l'évolution des solutions destinées à l'industrie de la construction, plus précisément aux outils d'aide au dessin et à la conception sur ordinateur, qui par la suite aboutiront aux solutions BIM connues actuellement.

ENIAC⁴¹ (Electronic Numerical Integrator and Computer) est considéré comme un des premiers ordinateurs électroniques à Turing-complet⁴². Cet ordinateur primitif conçu pour le programme militaire balistique et nucléaire américain au début des années quarante pesait vers les 30 tonnes, sur une surface de 167m² et avait une consommation d'énergie de l'ordre de 150 kW avec une durée de service sans panne maximale de 116h atteinte en 1954, pour une puissance de calcul qui ne dépassait pas les 40 divisions ou 360 multiplications par secondes. Ceci démontre les restrictions que posaient ces ordinateurs primitifs.



*Figure 5: Ivan Sutherland présentant Sketchpad avec le Lightpen, M.I.T, 1963.
Source : Russell Morash, John Fitch, National educational television, 1963*

Par ailleurs, l'histoire nous renseigne que l'origine des logiciels d'aujourd'hui remonte au projet des forces aériennes américaine en collaboration avec le laboratoire Lincoln du Massachusetts institute of technology (MIT) avec le projet SAGE initié dans les

⁴¹ Shurkin (1996)

⁴² En informatique ou en logique, un système turning-complet est un système formel ayant une puissance de calcul au moins équivalente à celle des machines de turning. Mitchell (2003)

années cinquante (1950), et qui avait permis de mettre en place une base technologique à l'exemple de nouvelles technologies de mémoire magnétique et des systèmes de design interactive⁴³. Sketchpad, que nous allons aborder incessamment était le fruit de ces efforts, basé sur un Lincoln Tx-2, dans le cadre des recherches initiées par Ivan Sutherland pour son doctorat qui visaient à créer pour la première fois une interface homme/machine⁴⁴. En effet, l'objectif de ce projet était de passer du modèle où l'ordinateur jouait le rôle d'outil de calcul pour résoudre un problème mathématique, à un modèle où l'homme travail avec l'ordinateur.

Dans ce modèle révolutionnaire le *Lightpen* et des boutons permettaient de dessiner des objets 2D et 3D sur un écran sensible, à l'image des tablettes tactiles de nos jours. L'utilisateur avait le choix entre plusieurs manipulations possibles à l'exemple de l'accrochage de points, la mise à échelle et la transformation géométrique (Figure 5). Ainsi, Sketchpad représente l'ancêtre des logiciels de dessin assisté par ordinateur utilisant une interface graphique qui se rapproche du dessin classique à la main. Quelques années plus tard d'autres solutions seront mis en place à l'exemple de *CATIA*⁴⁵ qui a été lancé en 1975.

Cependant, la taille des machines utilisées, la complexité de la gestion et de l'entretien en plus des coûts exorbitants des équipements et des logiciels⁴⁶ avaient fait que l'adoption de ces technologies au sein des ateliers d'architecture et autres corps du bâtiment avait pris du temps. L'apparition des premiers ordinateurs compacts⁴⁷, à des prix plus accessibles et la vulgarisation des startups spécialisées dans la création de solutions informatiques grand public, avait conduit à la naissance d'AutoCAD⁴⁸, ArchiCAD⁴⁹ et autres logiciels plus adaptés à la pratique de l'architecte, de l'ingénierie et des autres corps du bâtiment. Ces solutions de dessin assisté par ordinateur avaient

⁴³ Sutherland (1963)

⁴⁴ Sutherland (1963)

⁴⁵ Computer aided three dimensional interactive application par Dassault à partir du code source de CADAM, un logiciel développé en collaboration entre IBM et Lockheed sur la base d'un système IBM 360. Weisberg (2006)

⁴⁶ Qui étaient souvent développés pour des projets militaires ou sensibles par les grands calibres de l'industrie pour un usage en interne, à l'exemple de PRONTO de General Electric.

⁴⁷ Dynabook représente le premier ordinateur de la taille d'un livre, conçu en 1963 par Alan Boy, chez Xerox. Sutherland (1963)

⁴⁸ Logiciel de dessin assisté par ordinateur lancé en 1982 par Autodesk, basé sur MicroCAD. Weisberg (2006)

⁴⁹ Lancé en 1987 en tant que logiciel DAO par Graphisoft puis considéré comme le premier logiciel BIM, il est le premier logiciel à offrir sur un ordinateur personnel la possibilité de créer des objets 2D et 3D. Forbes and Ahmed (2011)

permis au secteur de relever de nouveaux défis sur des délais plus courts grâce à leur efficacité.

Le phénomène de la globalisation⁵⁰, la propagation des outils de télécommunication et d'internet⁵¹ avaient aussi permis à des équipes situées sur des distances géographiques importantes de collaborer sur un même projet. En parallèle le mouvement de prise de conscience des enjeux environnementaux et climatiques avait conduit à l'apparition de normes d'évaluation des performances du bâtiment⁵². La somme de ces facteurs conjugués à l'évolution constante et rapide de la puissance de calcul des ordinateurs avait conduit à l'émergence des solutions BIM.

Né de l'évolution de la DAO et la CAO pour répondre aux enjeux d'efficacité dans un marché de plus en plus compétitif, et pour permettre une meilleure collaboration entre les différents acteurs afin de maximiser les performances énergétiques et réduire l'impact sur l'environnement. Autodesk procéda à l'achat de Revit⁵³ en 2002 pour 133 millions de dollars américains, avec cette acquisition Autodesk devenue un acteur majeur sur le marché de la modélisation architecturale⁵⁴.

Pour mettre en valeur les nouveautés qu'apporte Revit (Figure 6), l'acronyme BIM a été mis en place par Autodesk, afin d'intéresser les architectes, designers et ingénieurs en présentant une solution qui permettrait de prendre des décisions durant le processus de conception, incorporant l'ensemble dans une base de données qui dépasse de loin le stade de la simple maquette numérique 3D⁵⁵. On peut dire alors que le BIM représente la pointe de la technologie et la continuité de l'évolution du dessin et de la conception assistée par ordinateur.

⁵⁰ La globalisation désigne un processus d'intensification des échanges internationaux de toute nature : marchandises, capitaux, informations. Lavoisy (2017b)

⁵¹ Internet est issu du réseau Arpanet, créé aux États-Unis en 1969 sous l'impulsion de la D.A.R.P.A. (*Defense Advanced Research Projects Agency*). Lavoisy (2017a)

⁵² À l'exemple du système de standardisation américain LEED leadership in environment and energy design lancé en 1998 par US Green Building Council. U.S. Green Building Council (2017)

⁵³ Logiciel BIM pour architectes ingénieurs et designers capable de mettre en place des maquettes selon les différents dimensions BIM, Créé par la société Charles River pour apporter la modélisation paramétrique au secteur du bâtiment en créant le concept de maquette numérique qui inclue les informations géométriques et non géométrique Weisberg (2006)

⁵⁴ Weisberg (2006)

⁵⁵ Weisberg (2006)

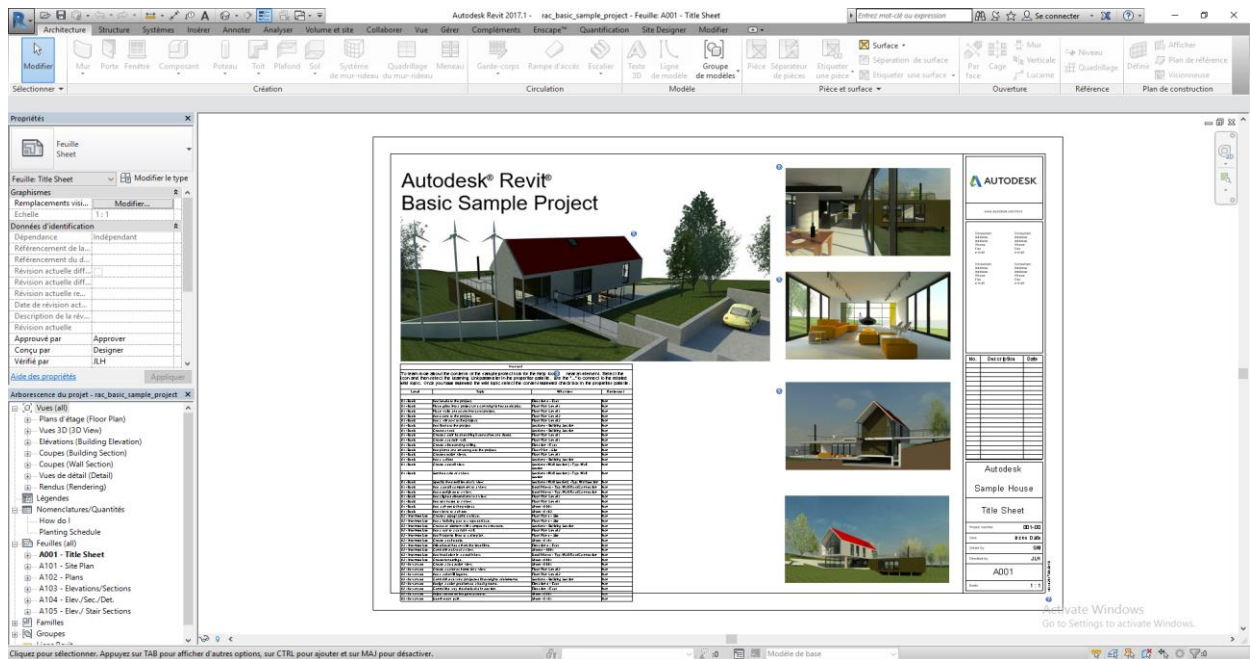


Figure 6: Interface du logiciel Revit architecture 2017.1.

Source : capture d'écran prise par l'auteur

3. Le BIM, un processus englobant plusieurs concepts :

Selon Jonathan RENO et Stevens CHEMISE « *le BIM signifie Building information modeling ou modèle d'information du bâtiment. En France, le terme de maquette numérique commence à apparaître. Avec le BIM, vous entendrez aussi parler de 7D ; c'est, en résumé, un modèle 3D dans lequel des « dimensions » sont ajoutées pour enrichir la base de données (le temps, les coûts, l'analyse énergétique ou encore les aspects liés à la vie du bâtiment).* »⁵⁶. En effet le BIM permet de d'attribuer à chaque objet de la maquette un ensemble d'information classés dans une base de donnée, qui sera la base du traitement de la maquette à travers le cycle de vie du projet.

« *Cette base de données pourra être modifiée, analysée, enrichie, dès la phase de conception jusqu'à la construction et même au-delà de la réalisation du projet (gestion durable, démolition, etc.).* »⁵⁷. On peut également définir le BIM comme étant **le processus de l'utilisation de l'information technologique pour partager, modeler, évaluer, collaborer, et gérer un modèle de bâtiment virtuel à travers son cycle de vie**. Le BIM étant un outil révolutionnaire qui a permis de transformer la façon dont on conçoit un bâtiment grâce à un suivi détaillé des informations de la conception à la livraison⁵⁸.

⁵⁶ Renou and Chemise (2015)

⁵⁷ Renou and Chemise (2015)

⁵⁸ Ahmed *et al.* (2012)

Le BIM ne se limite pas uniquement à une plateforme de travail et d'échange au profit des différentes disciplines, il peut être aussi un outil de simulation virtuelle du projet avant sa réalisation pour mieux maîtriser sa qualité, son coût et son impact sur l'environnement et les relations qu'il peut entretenir avec ces usagers, afin de réduire les risques et de régler un maximum de problème avant le lancement des travaux et ainsi minimiser les coûts et maîtriser les délais. Pour ensuite toucher les phases d'entretien du projet une fois réalisé et générer un fond documentaire sur les différentes interventions pour finalement permettre dans certains cas de mieux organiser le processus de démolition une fois l'édifice jugé inadéquat durant la fin de son cycle de vie, ou de récupérer des informations historiques en cas de destruction accidentelle de l'édifice.

Pour illustrer l'essence de ce concept, la courbe de Patrick MacLeamy (Figure 7) nous permet de mieux visualiser l'intérêt économique de la transition vers un processus BIM. En effet, plus le projet avance et plus il est difficile d'opérer des modifications, qui en plus verront leurs coûts augmenter. Contrairement au processus classique Le processus BIM nous permet d'opérer un maximum d'effort durant les premières phases du projet pour réduire les modifications durant les dernières phases⁵⁹.

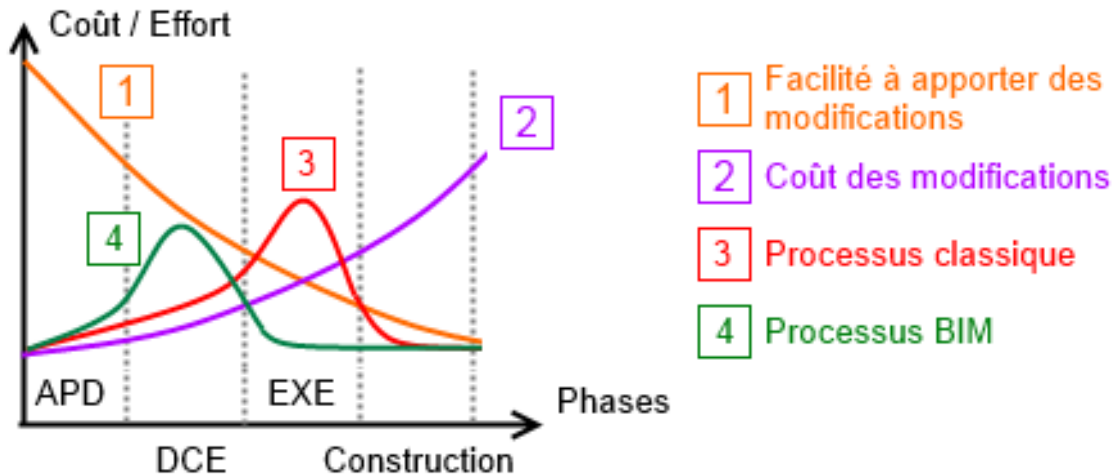


Figure 7: Courbes de Patrick MacLeamy
(Qui permet de comprendre l'intérêt économique du processus BIM).
Source : (Renou and Chemise, 2015)

Pour mieux comprendre le BIM Nous allons cerner les concepts et les définir. Commençant par le mot clef BIM. Le « M » dans cet acronyme peut avoir en réalité plusieurs significations : model, modeling et management. Le premier concept à savoir « Building information model »⁶⁰ définit un modèle unique ou un ensemble de modèles qui

⁵⁹ Renou and Chemise (2015)

⁶⁰ Naroura (2014)

regroupent les informations géométriques, techniques, d'annotations, de comportement thermique et structurel et tout autre information relative au projet. Ce modèle représente une base de données du projet en question et un point de départ pour générer l'ensemble des documents relatifs à ce dernier.

Le « Building information modeling »⁶¹ quant à lui représente le processus de création de ces modèles l'organisation et la structuration de l'information pour qu'elle puisse être facilement exploitée et rapidement mis-à-jour, il définit la méthodologie de travail pour obtenir un résultat cohérent et échangeable entre l'ensemble des acteurs.

Enfin le « Building information management » est défini comme étant « *la manière de gérer et d'échanger de façon fiable les flux de données indispensables aux usages du BIM* »⁶² le management ici touche la façon dont est transmise l'information et l'intégration des données générées par les différents acteurs. A travers ces trois concepts, on distingue rapidement l'importance des données et du processus dans cet outil révolutionnaire de l'Age du numérique.

Le BIM apporte plusieurs nouveautés par rapport à la DAO « *Dessin assisté par ordinateur* »⁶³ et la CAO « *Conception assistée par ordinateur* »⁶⁴, en premier lieu une forme d'intelligence⁶⁵ où chaque objet est définie par sa géométrie, sa description et ses caractéristiques, mais aussi une position dans une arborescence globale⁶⁶ qui lui permet d'avoir des propriétés paramétriques avec un impact sur les autres éléments de l'arborescence et ainsi automatiser en grande partie le processus de modification du modèle.

Pour mieux illustrer la différence entre la CAO/DAO et le BIM (Figure 8), citons l'exemple d'une fenêtre. Les logiciels basés sur DAO et la CAO considèrent cette fenêtre comme étant un ensemble géométrique composé de points, de lignes et de plans. Cependant dans le processus BIM, cette dernière présente des propriétés de nombre, de nature, d'hôte⁶⁷ dans une logique d'arborescence globale, de matériaux, de caractéristiques

⁶¹ Autodesk (2016b)

⁶² Naroura (2014)

⁶³ Autodesk (2017c)

⁶⁴ Autodesk (2017c)

⁶⁵ Vervandier (2016)

⁶⁶ Murphy *et al.* (2013)

⁶⁷ Le mur étant l'hôte de la fenêtre va créer automatiquement dans sa géométrie un vide qui sera proportionnel à la géométrie de la fenêtre.

d'isolation phonique et thermique, de sécurité, de fabrication et de coûts et pleins d'autres propriétés adaptés à la nature et niveau de détails du projet⁶⁸.

L'interdépendance entre la 3D du modèle et les documents 2D permet d'intervenir sur l'un ou l'autre pour modifier automatiquement l'ensemble de la maquette et ainsi avoir un gain conséquent en temps et en coût, surtout dans les phases avancées du projet où des modifications de petites envergures peuvent avoir un impact énorme sur le projet.

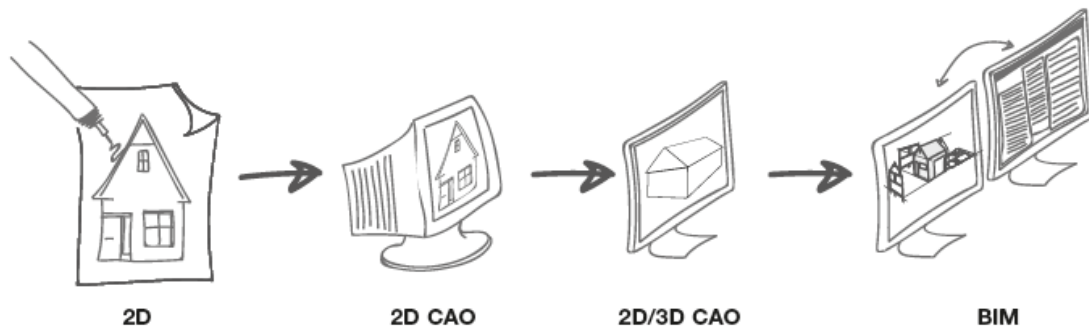


Figure 8: Évolution du processus de conception en construction vers le BIM.
Source : CSTC, « Un regard éclairant sur le BIM », <http://www.cstc.be/> (29 mars 2017).

Un des concepts les plus importants dans cette nouvelle approche est le flux de travail « workflow »⁶⁹, il permet de définir une méthodologie de travail efficace adaptée à la nature de chaque projet et de l'équipe qui travaille dessus. Le workflow touche aussi l'interopérabilité entre les logiciels et garantit une transition fluide entre les différentes phases du projet.

La mise en place d'un workflow est la mission du BIM manager⁷⁰ de l'équipe, En effet le rôle de ce dernier ne se limite pas aux tâches traditionnelles qu'assurait le CAD Manager⁷¹, le BIM Manager définit les standards d'introduction de l'information, son niveau de détail, la façon dont est stocker l'information, les droit d'accès à l'information et la responsabilité de chaque intervenant dans la maquette globale et le phasage de chaque intervention. Il s'assure aussi de l'interopérabilité entre les logiciels et de la mise en place d'une charte pour la création d'éléments répétitifs (à l'exemple de portes et fenêtres) dans le cadre d'une bibliothèque numérique qui capitalise l'expérience de l'agence pour un gain de temps dans des projets futurs.

⁶⁸ Renou and Chemise (2015)

⁶⁹ Renou and Chemise (2015)

⁷⁰ Renou and Chemise (2015)

⁷¹ Personne chargée de la gestion des nomenclatures et standards utilisés dans le dessin assisté par ordinateur d'une agence d'architecture, il peut par exemple définir les propriétés de chaque claques dans un fichier Autocad.

Le BIM étant un processus complexe qui englobe plusieurs intervenant sur plusieurs phases, des notions de dimensions ont été mis en place pour qualifier d'une façon sommaire le niveau de chaque maquette, ainsi on retrouve le BIM 2D constitué d'une géométrie en plan avec des coordonnées x et y, le BIM 3D se développe dans l'espace en ajoutant les coordonnées z. Ces deux dimensions représentent la base commune entre le BIM et la DAO.

En plus de ces concepts "classiques". Le BIM d'autres dimensions : ainsi, le BIM 4D intègre en plus des coordonnées spatiales, la notion du temps, le BIM 5D rajoute le facteur coûts en prenant en charge les calculs des quantités multiplié par les prix unitaires fournis par les fabricants, ou tirés d'une base de donnée réalisée par le maître d'œuvre pour obtenir le budget nécessaire à la réalisation du projet, ce budget peut même être mis à jours en temps réel si un service de mise à jour en ligne est mis en place. Le BIM 6D intègre les informations et processus nécessaires à l'intégration du facteur site dans la maquette numérique. Enfin, le BIM 7D touche aux objectifs mêmes de cette recherche, cette dimension prend en charge les bâtiments à travers son cycle de vie, en regroupant l'ensemble des informations relatives à la gestion et l'entretien planifié de l'édifice⁷².

L'utilisation de standard d'échange d'information communs permet une flexibilité entre les différents logiciels qui adoptent les profils des différents intervenants du projet. En effet, si l'architecte utilise un logiciel A, l'ingénieur peut utiliser un logiciel B (qui peut être conçu par un autre éditeur) et contribuer à la maquette numérique centrale sans perte d'informations grâce à des formats standards à l'exemple du format IFC.

Le format IFC « *Industry Foundation Classes* », mis en place par la IAI « *International alliance for interoperability* » est ouvert et représente la base de données qui permet le dialogue entre les logiciels. La IAI, actuellement l'association BuildingSMART regroupe des éditeurs de logiciels et des acteurs du secteur du bâtiment⁷³ et assure ainsi le développement de format pour mieux répondre aux enjeux futurs. D'autres formats existent à l'exemple du COBie « *Construction Operations Building Information Exchange* »⁷⁴ qui se focalise sur la gestion et la maintenance d'un ouvrage, mais aussi le format gbXML

⁷² Ahmed (2015)

⁷³ Renou and Chemise (2015)

⁷⁴ Renou and Chemise (2015)

« *Green Building XML* » qui comme son nom l'indique touche les questions énergétiques et d'impact écologique du bâtiment sur son environnement.

Les logiciels utilisés dans le processus BIM assurent un deuxième degré de flexibilité en permettant l'adoption de plusieurs niveaux de détail pour atteindre un livrable⁷⁵ BIM dans un projet selon les besoins et les objectifs fixés par l'équipe de conception et de réalisation. « *Il contient l'information nécessaire à l'exploitation dudit potentiel, par exemple l'estimation des coûts, la coordination des différents intervenants, l'exploitation et la maintenance de l'ouvrage... il est indispensable de définir dès le départ l'objectif BIM à atteindre* »⁷⁶ ceci pour s'assurer de la satisfaction des exigences fixés pour le projet et éviter la surcharge sur l'équipe.

Ainsi, la notion de niveau de détail du projet présente un autre point important, il est défini par la qualité et la fiabilité de l'information. Ces éléments sont dépendants de la phase et de l'état d'idéalisation du projet et doivent éviter la surinformation⁷⁷ ou la sous-information⁷⁸. Heureusement ces propriétés sont codifiées par un ensemble de normes à l'exemple de la norme LOD « Level of development specification »⁷⁹ établie par la AIA⁸⁰ qui cherche à mettre en place une référence en terme de niveau de détail et de développement du model en concordance avec la phasage d'avancement du projet.

Les spécifications LOD (level of detail specifications) permettent de « *spécifier et d'articuler avec un niveau de lucidité important le contenu et la fiabilité d'un model BIM selon à travers toutes les étapes du processus de conception et de construction. Selon le schéma développé par la AIA E202-2009 BIM and Digital Data Exhibit mis à jours avec le protocol G202-2013*⁸¹ ». Les LOD ne sont pas définies par les phases de conception du projet, ils sont plutôt cernés par la clôture d'une phase de conception. Ceci est dû à l'absence d'un standard commun détaillé de phasage des projets d'une part, et à l'évolution de ce phasage avec un rythme qui varie selon la nature du projet d'autre part.

Le BIM étant un outil de communication et de collaboration qui n'est pas utilisé uniquement par l'auteur, nécessite La mise en place des spécifications LOD qui

⁷⁵ Naroura (2014)

⁷⁶ Naroura (2014)

⁷⁷ A titre d'exemple l'intégration de données de fabrication dans la phase esquisse du projet.

⁷⁸ On peut citer l'absence de caractéristique de structure analytique dans un model destiné à être évaluer pour son comportement structurel.

⁷⁹ BIM Forum (2013)

⁸⁰ American institute of architecture, Institut américain d'architecture.

⁸¹ BIMforum & AIA (2016)

permettent de résoudre plusieurs problèmes. En premier lieu, définir l'étape d'avancement de la réflexion et le niveau de détail d'un composant particulier dans la maquette sans avoir besoin de l'intervention de l'auteur. Le deuxième point réside dans le fait que les possibilités qu'offre le BIM font qu'un modèle générique placé approximativement dans la maquette peut avoir la même représentation qu'un modèle placé avec précision, l'utilisation de ces spécifications permet d'éviter de tomber dans ce piège. Enfin l'utilisation des LOD facilite la planification des tâches par les différents acteurs en clarifiant les étapes de conception et de constructions, ce qui permet d'éviter les conflits et assure plus d'efficacité au sein de l'équipe.

Pour certains, les LOD sont interprétés comme niveau de détail (ce qui est faux)⁸² au lieu de niveau de développement. Le niveau de détail se limite à la quantité de détails présents dans le dessin. Par contre, le niveau de développement va-au-delà et précise le niveau de réflexion attaché à chaque élément ce qui assurent la possibilité d'utiliser la maquette et l'objet BIM d'une façon adéquate même dans le cas de l'absence de l'auteur.

On peut compter 5 spécifications LOD⁸³ (Figure 9) qui s'adaptent aux différentes phases de dévolution du projet. La spécification LOD 200 désigne « *des éléments graphiques avec une représentation générique, une taille, une forme, une position, une orientation et des quantités approximatives, avec une possibilité d'attachés des informations non graphique à ces éléments*⁸⁴ ». La spécification LOD 300 quant à elle couvre « *les éléments graphiques représentés comme systèmes spécifiques en terme de quantité, de taille, de forme, de position et d'orientation avec une possibilité d'attachés des informations non graphique à ces éléments*⁸⁵ ».

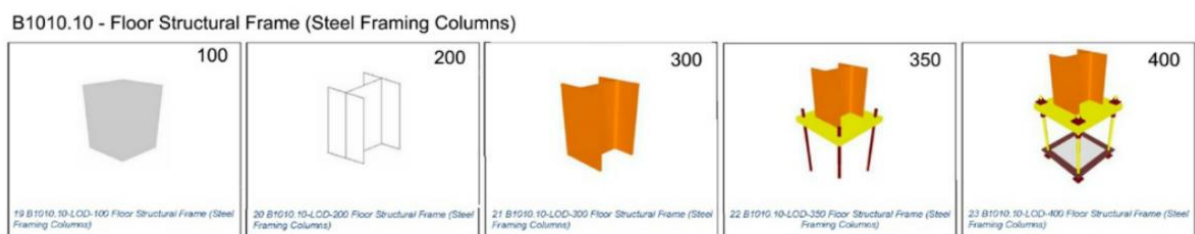


Figure 9: Exemple d'un profile métallique structurel représenté selon les différentes spécifications LOD.
Source : (Donato and Biagini, 2016)

⁸² BIMforum & AIA (2016)

⁸³ BIMforum & AIA (2016)

⁸⁴ BIM Forum (2013)

⁸⁵ BIM Forum (2013)

La spécification LOD 350 reprend les mêmes critères de la spécification LOD 300 en rajoutant le critère de l'interaction avec les autres éléments du modèle⁸⁶. Les spécifications LOD 400 et 500 repensent aussi les mêmes critères que les spécifications précédentes en ajoutant, les détails, les informations de fabrication, d'assemblage et d'institution pour la LOD 400. Enfin, la spécification LOD 500 se focalise sur la vérification sur terrain une fois les éléments réalisés des informations spécifiés en amont⁸⁷.

Ces spécifications peuvent être appliqués au domaine de la gestion du patrimoine et ainsi être utilisées pour créer un support numérique normalisé qui s'adapte aux différentes phases du développement du projet d'intervention⁸⁸, pour assurer une traçabilité des différentes interventions que pourra subir un bâtiment. On peut aussi imaginer la création de spécifications du niveau de développement adaptées aux phasages d'intervention sur le patrimoine, en prennent par exemple en compte la stratification historique de l'édifice et les phases d'excavation et de mise en valeurs de ces strates.

Dans le cadre d'une politique qui vise à généraliser l'adoption du BIM, mise en place par certains pays à l'exemple de l'Angleterre. Une stratégie basée sur le déploiement graduel de ce processus en se fixant des objectifs sur court et moyen terme, la notion de du niveau de maturité BIM, permet de mieux quantifier l'évolution de ces efforts et ainsi accélérer la phase de transition. Aux Royaume-Uni, on cherche à éliminer 20 à 25% des coûts supplémentaires générés par la mauvaise gestion de l'information dans les projets de construction, pour cela le pays s'est fixé un objectif d'atteindre le BIM niveau 2 avant la fin de l'année 2016⁸⁹. La maturité BIM est divisée ainsi en quatre niveaux selon la (Figure 10). « *Le niveau 0 représente les informations non collaboratives générées en grande partie par la 2D DAO avec des supports en papier ou numériques non coordonnés. Le Niveau 1 implique la production d'informations par chaque discipline séparément à l'aide de la DAO 2D et 3D, avec des supports numériques partagés dans un environnement de donnée Commun géré selon la norme BS 1192 :2007 (BSI 2007).*

Le niveau 2 quant à lui défini un processus de collaboration entre les disciplines à travers un model 3D géométrique et des données non graphiques, l'information est échangée avec des formats dits (non-proprietary formats) à l'exemple du format IFC. Le BIM niveau 2

⁸⁶ BIM Forum (2013)

⁸⁷ BIM Forum (2013)

⁸⁸ Donato and Biagini (2016)

⁸⁹ Antonopoulou and Bryan (2017)

implique la conservation de l'ensemble des données selon un format électronique géré par un environnement commun de données. Le niveau 3 connu aussi sous l'appellation OPEN BIM, représente une méthodologie complémentent intégrée de collaboration entre les disciplines autour d'un modèle unique et centralisé ce qui permet d'assurer un risque zéro de conflit d'information.⁹⁰ »

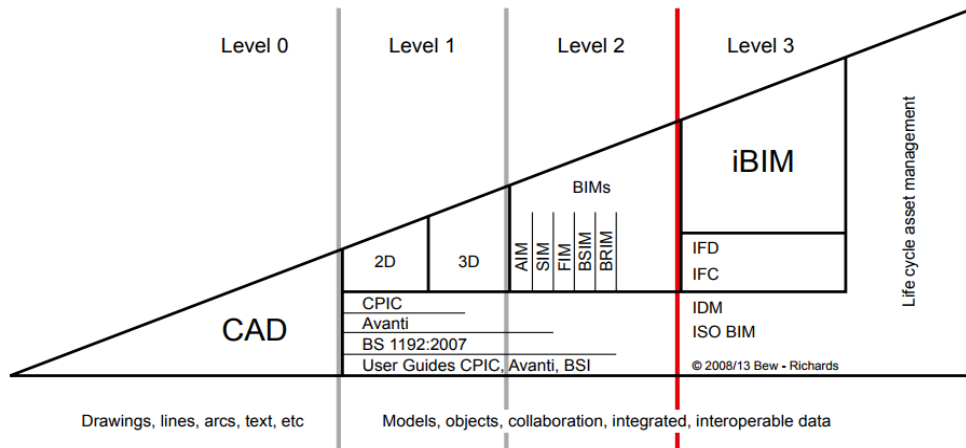


Figure 10: Diagramme de niveau de maturité BIM de Bew-Richards.
Source : (Antonopoulou and Bryan, 2017)

En outre, le BIM et ses applications génériques, la nécessité de prendre en charge le bâti historique ont fait de l'adoption d'un nouveau processus mieux taillé aux enjeux du patrimoine une priorité. De ce fait le concept de HBIM (Historical Building information modeling) a été mis au point⁹¹. En effet, l'échange d'information dans le BIM peut se faire selon deux approches, la première consiste en un model basé sur la réalité (Reality-based model) qui consiste en une reproduction digital 3D de l'édifice. La seconde quant à elle est basée sur une représentation conceptuelle (Virtual prototype) exprimée par des paramètres⁹². Le HBIM reprend ainsi la deuxième approche pour garder et échanger le savoir relatif aux constructions.

Cependant, la complexité de la reconstitution des surfaces géométriques qui composent un édifices historique, caractérisé par des éléments de natures non homogènes et non répétitifs en plus d'une composition physicochimique variable due aux procédés de construction anciens, la nature des matériaux et la stratification, font que le HBIM doit prendre en charge plusieurs facteurs qui n'existent pas dans les projets de constructions nouvelles. Pour cela l'utilisation d'un procédé qui vient complémenter le

⁹⁰ Antonopoulou and Bryan (2017)

⁹¹ Murphy *et al.* (2013)

⁹² Donato and Biagini (2014)

BIM dans son sens classique à travers un système semi-automatique de reconnaissance des éléments paramétriques typologiques (Parametric typological elements PETs)⁹³ permet d'obtenir des H-BOM (Historical Building object model)⁹⁴ en créant une base de données sémantiques⁹⁵ issues des documents historiques et études menées sur des édifices de nature similaires. Ceci pour représenter outre la géométrie des éléments bâtis, les informations morphologique et technologique. Le procédé de création des H-BOM est basé sur 3 étapes :

« (1) L'analyse des traités et manuscrit qui regroupe le savoir relatif aux techniques de construction prémodernes, (2) établir une base de données qui contient l'ensemble des éléments typologiques étudiés, et (3) la modélisation paramétrique des objets en utilisant les éléments inclus dans la base de données en affectant des conditions de famille spécifique pour une application futur dans un autre model HBIM⁹⁶. »

Malheureusement le HBIM n'est appliqué aujourd'hui qu'aux édifices classiques et aux œuvres de la renaissance⁹⁷, ce patrimoine qui partage des éléments architectoniques codifiés, souvent disposés selon une logique de grammaire architectural qui distingue chaque période et style, permet de créer aisément une base de données sémantique, et facilite ainsi le processus de modélisation paramétrique en simplifiant l'identification, la reconnaissance et la traduction des nuages de points en objets qui peuvent être ensuite, aisément paramétrés et modifiés dans le cadre de l'automatisation de la création de la maquette numérique.

À cela s'ajoute le fait que les pays leaders disposent d'un patrimoine riche d'édifices datant de ces époques historiques, à l'exemple de l'Allemagne, l'Angleterre et l'Italie. Ces pays qui ont déjà adopté largement le BIM, sont en train d'extrapoler son application sur leur patrimoine⁹⁸, Citons l'exemple du Royaume-Uni où des projets pilotes ont été mis en place pour créer une méthodologie applicable à un échantillon plus large⁹⁹. Ceci permet de développer le processus BIM adaptant les spécificités du contexte du pays

⁹³ Donato and Biagini (2014)

⁹⁴ Donato and Biagini (2016)

⁹⁵ Une forme de base de données intelligente qui se base sur l'étude du contexte pour mieux mettre à disposition l'information. Concept mis en avant dans le cadre du web sémantique. Fensel *et al.* (2003)

⁹⁶ Donato and Biagini (2014)

⁹⁷ Murphy *et al.* (2013)

⁹⁸ Murphy *et al.* (2013)

⁹⁹ À l'exemple du projet initié par l'organisme UK Heritage qui vise à introduire le BIM dans la gestion du patrimoine. COTAC (2016)

sur le plan réglementaire, historique et professionnel, et en même temps apprécier l'intérêt et déterminer les faiblesses de L'HBIM dans le cadre d'une vision prospective.

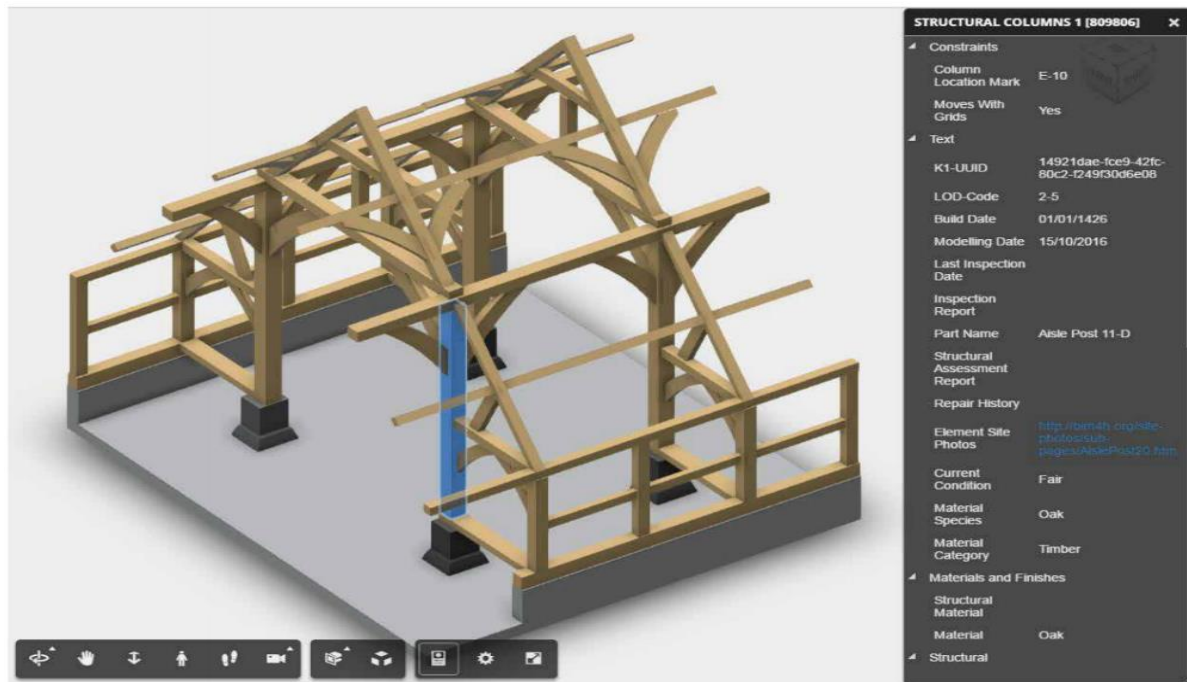


Figure 11: Exemple de la liste de paramètres incluse dans un modèle HBIM.
Source: (Antonopoulou and Bryan, 2017)

La station de train de Edinburgh Waverley (Figure 11) représente un de ces projets pilotes, où l'utilisation du processus BIM a permis de réduire les coûts et le temps de réalisation en améliorant la communication entre les différents acteurs. Le processus a débuté par la création d'un BEM (BIM execution plan) un plan d'exécution BIM et la mise en place d'un environnement commun de données CDE (common data environment). Ainsi, ces éléments et le modèle 3D constituent la base de la démarche qui a duré moins de deux semaines¹⁰⁰. Cet effort a permis la mise en place d'une maquette intégrée des champs libres pour l'ajout d'informations en concordance avec le développement du projet.

¹⁰⁰ Antonopoulou and Bryan (2017)

Chapitre 2 : Le BIM appliqué au patrimoine, expériences et perspectives.

1. L'application du BIM au patrimoine Aujourd'hui :

L'intérêt du processus BIM dans l'industrie de la construction a été bien démontré à travers le premier chapitre, ce processus novateur vise avant tout à atteindre une efficacité optimale dans les délais grâce à l'automatisation d'une grande partie des d'opérations nécessaire à la conception, la documentation, la réalisation, l'évaluation et la gestion de l'édifice. Pour permettre ainsi, de baisser les coûts de l'opération et le temps nécessaire à sa réalisation. Cependant, on ne peut que s'interroger sur l'impact que peut avoir ce processus sur le secteur du patrimoine.

Le domaine de la gestion du patrimoine par définition, traite d'objets de valeur. La valeur dans ce cas est divisée en deux branches : les valeurs de remémoration née du passé qui véhicule une mémoire à l'exemple de la valeur historique d'un édifice. Et une valeur de contemporanéité qui ne dépend pas de son âge mais de ses caractéristiques comme la valeur artistique d'une peinture, ou économique d'un musée¹⁰¹. Ainsi vu les valeurs que présente le patrimoine on ne peut qu'intervenir avec un maximum de précaution et de sagesse pour réduire au minimum les risques d'altération de ces valeurs.

Ces objets sont souvent de par leur âge, dans un état dégradé ou sensible avec un risque d'altération ou de destruction assez important. Cela est dû à une variété de facteurs. À ceci s'ajoute fréquemment une carence des fonds documentaires relatifs à la réalisation de l'œuvre en question et l'historique précis des interventions qu'elle a connues. Sans oublier la nature non homogène¹⁰² que présente les matériaux de l'époque et les techniques utilisées¹⁰³ pour sa réalisation. L'ensemble de ces facteurs rajoute un autre niveau de complexité à toute intervention sur ce patrimoine.

L'utilisateur du BIM dans ce contexte se heurte à certains inconvénients nés des divergences entre le processus classique appliqué aux constructions nouvelles et la complexité que présente le patrimoine. On peut citer l'exemple des *Data void*¹⁰⁴, là où le BIM est censé représenter la totalité des informations d'un bâtiment. Ici, la réalité du terrain dans les ouvrages historiques fait que certaines zones ne sont pas accessibles pour être relevées directement et nécessitent, soit un budget important souvent non disponible

¹⁰¹ Riegl and Boulet (2003)

¹⁰² À l'exemple des murs en terre portants de la Casbah d'Alger qui présente des variations de caractéristiques physiques et chimiques dans un échantillon restreint.

¹⁰³ À l'exemple de techniques primitives de découpe de la pierre de taille pour la réalisation d'arcs ou murs portants.

¹⁰⁴ Zone de l'édifice où on dispose de très peu ou pas d'informations. Antonopoulou and Bryan (2017)

pour des opérations de sondages ou autres techniques sophistiqués. Soit il provoque des risques d'altération importants causé par un éventuel décapage, l'utilisation de laser ou la prise d'échantillon par carottage. Dans ces cas de figures, on ne peut que compter sur des suppositions éclairées émises par des experts pour se rapprocher de la réalité des faits in-situ.

Un autre exemple est illustré par les formes singulières et irrégulières que présentent certains éléments du bâti ancien. Pour cela, le concept du BIM Hybride¹⁰⁵ a été mis en place pour permettre de simuler ces éléments qui présentent des géométries uniques d'une façon plus efficace et ainsi, gagner du temps en utilisant des maillages (Mesh)¹⁰⁶ et volumes générés par d'autres solutions géo-spatiales et processus DAO sans passer par la modélisation BIM de ces éléments. Toutefois, cette méthode doit être réservée à un nombre limité d'éléments. Car elle représente des inconvénients, comme la surcharge du fichier de la maquette, le manque ou l'absence de paramètres intégrés à ces objets et des problèmes d'interaction avec les autres objets modélisés avec le BIM.

Pour mieux comprendre les atouts que représente le BIM dans le secteur du patrimoine, les perspectives futures et les faiblesses de cette technologie dans ses versions actuelles, et antérieures. Ce chapitre traite des expériences conduites sur des projets concrets dans des pays leaders du domaine, à l'exemple de la Grande Bretagne¹⁰⁷ et les Etats-Unis d'Amérique¹⁰⁸. Ceci permettra de mieux cerner notre recherche, tout en ayant un point de repère qui servira de guide et d'outil d'étalonnage en comparant nos résultats aux expériences de ces pays.

Il faudra noter que **l'application du BIM au patrimoine reste un axe de recherche et d'expérimentation relativement récent**. En effet, tout comme notre essai d'application que l'on abordera dans un chapitre à part, les projets traités ci-dessous sont soit des projets pilotes initiés par des institutions chargées de la gestion d'un patrimoine public, ou bien des projets nés de recherches académiques dans un cadre

¹⁰⁵ Antonopoulou and Bryan (2017)

¹⁰⁶ Représentation polygonale des surfaces basée sur des triangles et quadrilatéraux composés de sommets, d'arrêtes et de faces. Autodesk (2016a)

¹⁰⁷ En imposant des objectifs à atteindre en termes de déploiement du BIM et en intégrant le processus BIM dans le programme UK Heritage chargé de la gestion et de l'étude des solutions nécessaire à la gestion du patrimoine britannique. Antonopoulou and Bryan (2017)

¹⁰⁸ The U.S. General services administration (GSA) considéré comme l'organisme public gérant le plus large inventaire immobilier des États-Unis d'Amérique, s'est lancé depuis 2003 sur l'intégration du BIM dans la gestion de son patrimoine à travers des projets pilotes. Savage *et al.* (2010)

universitaire. L'application plus large de cet outil dépendra ainsi, en grande partie des résultats et des retours d'expériences générés par ces expérimentations. Mais aussi des solutions customisées en réponses des défis particuliers rencontrés dans chaque projet. Ici, il ne faut pas manquer d'insister sur le fait que, contrairement aux nouveaux projets standardisés en amant par les fournisseurs des produits BIM, les édifices historiques présentent des singularités qui en font en quelques sortes une grande partie de leurs valeurs historiques et culturelles.

2. Analyse d'exemples d'application du BIM au patrimoine :

C'est en 2011, que le gouvernement de grande Bretagne a mis au point une stratégie qui vise à généraliser le processus BIM, en commençant par intégrer des objectifs relatifs au BIM dans sa stratégie de construction¹⁰⁹, puis dans son projet *the Construction 2025*¹¹⁰ datant de 2013. Ceci démontre l'importance de cette technologie. Les autorités de l'époque cherchait à réduire les coûts de construction à terme de 33%, de livrer les projets en 50% moins de temps avec 50% moins d'émissions à effet de serre et en améliorant l'exportation de l'industrie de la construction de 50%¹¹¹.

Ainsi l'Angleterre est considérée comme un des leaders dans le domaine du BIM. En effet, dès 2016 l'accès à la commande publique pour les maîtres d'œuvre nécessite l'utilisation de ce processus. Ces objectifs couvrent aussi le secteur de la sauvegarde et de la gestion du patrimoine. Pour répondre à ces enjeux, un ensemble de projets d'intervention sur des édifices à valeur patrimonial a été mis en place. Ces projets qui seront présentés d'une manière furtive ici, représentent un important fond documentaire et une référence mondiale dans le domaine de l'application du BIM au patrimoine.

Bureau de poste à Dundee, Scotland :

Le bâtiment étant un ancien bureau de poste construit en 1898 et classé comme un ouvrage de Catégorie B¹¹² (Figure 12), devait accueillir l'extension d'une école. Le maître de l'ouvrage avait exprimé le besoin d'un relevé et une maquette BIM avec un LOD important, pour l'utiliser comme base pour des travaux de reconversion et la simulation

¹⁰⁹ Cabinet Office United Kingdom (2011)

¹¹⁰ HM Government United Kingdom

¹¹¹ HM Government United Kingdom

¹¹² Catégorie utilisée par Historic Environment Scotland pour désigner les bâtiments ayant une importance régionale et représentant d'un style ou une période historique. Historic Scotland (2015)

des solutions proposés et leur impact sur l'aspect de l'édifice. Le maître d'œuvre *Greenhatch Group* a choisi d'utiliser Revit pour s'intégrer dans le workflow habituel du maître d'ouvrage habitué à utiliser ce logiciel¹¹³.



Figure 12: Façade du Bureau de poste de Dundee en Scotland, les sculptures présente une géométrie complexe.
Source : (Antonopoulou and Bryan, 2017)

L'utilisation d'un niveau de développement important pour la maquette a été exigée pour permettre d'apprécier l'aspect du bâtiment selon les différentes options d'interventions proposées. Mais aussi pour générer l'ensemble des documents graphiques et écrits¹¹⁴ nécessaires aux travaux qui urgent et les centraliser pour être utilisés par les acteurs sur le chantier. Enfin, ce fond documentaire a été mis à la disposition du staff du bâtiment pour faciliter sa gestion.

La première étape du projet étant l'utilisation de station totale du type Leica TS15i et un scanner laser Zoller + Fröhlich 5010c pour générer des nuages de points précis de l'intérieur et de l'extérieur de l'édifice. Un relever classique à la main a été utile pour la combinaison des nuages de points en un seul fichier sur le logiciel Cyclone¹¹⁵, l'étape suivante étant le transfert du fichier vers Revit à travers le logiciel Autodesk Recap¹¹⁶. Enfin l'utilisation de ces données a permis à l'équipe de créer une maquette LOD 350. Vu l'âge du l'édifice et la nature non régulière des murs, la combinaison des méthodes de

¹¹³ Antonopoulou and Bryan (2017)

¹¹⁴ À l'exemple du quantitatifs des matériaux nécessaires à la réalisation des travaux.

¹¹⁵ Suite de logiciel de la marque Leica, Solution complète pour la production de livrables à partir de nuages de point. Leica Geosystems

¹¹⁶ Logiciel de l'éditeur Autodesk utilisé pour créer des modèles 3D précis à partir de nuages de points. Autodesk (2017a)

relevé laser et classique a permis d'obtenir des informations détaillées nécessaires à la modélisation des familles¹¹⁷ utilisé dans la maquette finale.

Le livrable de cette intervention consistait en un ensemble de documents graphiques 2D, formats PDF¹¹⁸ et DWG¹¹⁹ pour une utilisation traditionnelle qui ne nécessite pas des ordinateurs puissants ou des logiciels onéreux, mais aussi la maquette BIM sur un fichier Rvt¹²⁰, et un nuage de point au format RCP. Des champs libres ont été mis en place dans les paramètres des éléments composant la maquette pour permettre aux intervenants futurs de renseigner de nouvelles informations et leurs commentaires. Ces remarques peuvent être paramétrées pour facilement informer le client¹²¹.

Les cariatides aillées et présentes sur la façade représentaient un challenge de premier ordre à l'équipe de modélisation. En effet, créer des éléments nativement sur Revit pour représenter ces sculptures est pratiquement impossible¹²². Pourtant, le client avait exigé leur modélisation. La solution adoptée (Figure 13) reposait sur la création d'un maillage à partir du nuage de point avec le logiciel *CloudCompare*¹²³.

L'étape suivante étant la réduction du nombre de faces avec MeshLab¹²⁴ pour alléger le fichier, pour ensuite l'importer sur *3D Studio Max*¹²⁵ et adoucir le volume et lui donner un aspect plus réaliste et l'exporter en fichier DWG. La dernière étape étant l'intégration du maillage dans une famille Revit et le mettre en place dans la maquette sur les coordonnées exactes. Lors de ces manipulations, il est essentiel de réduire le nombre de surfaces des éléments pour éviter d'alourdir la maquette avec des objets trop complexes et de garder un niveau de développement mais aussi l'ergonomie adéquat à celui de la maquette BIM globale.

¹¹⁷ L'appellation Famille est utilisée dans Revit pour désigner les groupes d'éléments composant la maquette numérique, à l'exemple des familles de murs, de fenêtres et de portes. Autodesk (2017b)

¹¹⁸ Portable Document format, format de document multiplateforme développé par Adobe systèmes. Techterms (2018)

¹¹⁹ Une base de données 2D ou 3D créées avec le logiciel Autocad contient des informations vectorielles. fileinfo (2018b)

¹²⁰ Projet de design architectural créé avec le logiciel Revit contenant des informations BIM. fileinfo (2018a)

¹²¹ Citons l'exemple de la création d'une liste des menuiseries extérieures qui présentent un risque d'infiltration des eaux pluviales.

¹²² Antonopoulou and Bryan (2017)

¹²³ Logiciel de traitement de nuage de point 3D open source. danielgm.com

¹²⁴ Logiciel de traitement et d'édition de maillages triangulés 3D open source. meshlab (2017)

¹²⁵ 3D studio Max est un logiciel de modélisation, d'animation et de visualisation édité par Autodesk. Autodesk (2018a)



Figure 13: Les étapes de l'intégration de la statue dans la maquette.
Nuage de point à gauche, puis la Mesh et enfin le rendu final à droite.
Source : (Antonopoulou and Bryan, 2017)

L'application du BIM couplé aux solutions scanners laser sur ce projet a permis à l'équipe de terminer le travail de relevé sur le site en 5 jours, traiter les données en une journée, pour ensuite modéliser la maquette BIM détaillée en 20 jours. L'analyse de ce projet nous a permis d'apprécier la méthodologie utilisée pour prendre en charge un édifice d'une façon efficace partant d'un fond documentaire graphique inexistant ou peu fiable et dans des délais courts à l'aide des nuages de points pour générer les informations nécessaires à la réalisation de la maquette numérique. Un autre point important à noter est l'utilisation systématique du processus BIM hybride lors de la création d'éléments complexes due à l'absence de '*solutions intégrée*' si répandues dans le processus BIM. Cette manipulation qui reste pratique, n'est toutefois pas idéal. Ce point représente une piste d'évolution pour les itérations futures des solutions BIM adaptées au patrimoine et au bâtis existant, afin de pouvoir prendre en charge nativement ce genre d'éléments et ainsi, simplifier le processus.

Zones publics et façade extérieur du musée national d'histoire, South Kensington Londres :

« Dans l'objectif d'améliorer son fond documentaire, le département de gestion du patrimoine du musée d'histoire naturel a lancé une commission pour effectuer un scanne laser des espaces accessibles au public et la façade extérieure du bâtiment, situé à South Kensington, Londres. Les espaces accessibles au public se composent de 29 galeries, 4 boutiques et 6 cafés. Le Waterhouse Building, qui a été ouvert en 1881 est classé dans la liste Grade I et le site dans sa totalité fait partie de la zone de sauvegarde de Queen's Gate désignée par le Royal Borough of Kensington and Chelsea »¹²⁶.

¹²⁶ Antonopoulou and Bryan (2017)

L'utilisation du BIM dans ce projet rentre dans une stratégie de mise en avant de l'impact de l'outil numérique. Afin de renforcer la démarche collaborative, et de disposer d'un fond documentaire précis dans le cadre d'interventions futures sur le patrimoine géré par cet organisme. Le scanner laser Leica P20 a été utilisé vu sa mobilité relative pour les espaces extérieurs et pour traverser le bâtiment. Le scanner Faro X330 a été employé pour générer le nuage de point représentant les espaces intérieurs. Une camera NCTech Istar a été déployée pour capturer les informations de couleur et les intégrer au cloud.

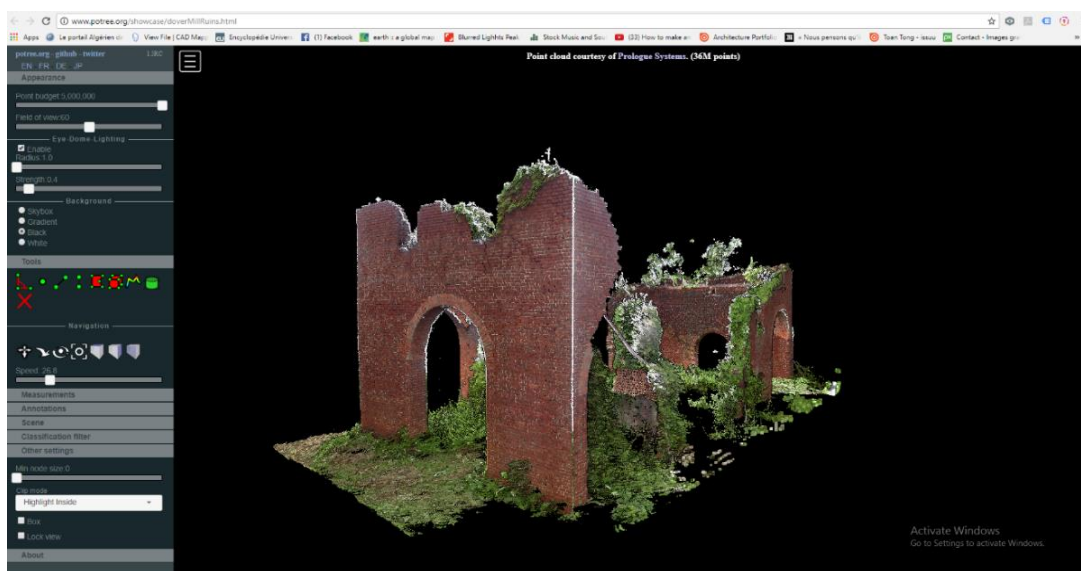


Figure 14: Exemple de visualisation de nuage de point sur navigateur web.
Source: (Vienna university of technology, 2017)

La combinaison d'informations de couleurs et le nuage de points peut être exploitée pour obtenir une visite panoramique *cloud viewer photo-réaliste* de l'édifice¹²⁷. Cette visite pourrait être partagée ensuite sur un site web, à l'exemple du service offert par le site potree.org¹²⁸ au profit du public. Ainsi, cela permet d'améliorer la visibilité de l'institution et offrir une expérience à distance ouverte sur le monde (Figure 14), cette technologie qui reste peu répandue peut profiter de la montée de la puissance de calculs que connaissent les smartphones de dernière génération¹²⁹. On peut aussi imaginer l'intégration de la réalité virtuelle¹³⁰ au processus pour offrir une expérience d'immersion plus réaliste.

¹²⁷ Antonopoulou and Bryan (2017)

¹²⁸ Outil open source en ligne de visualisation de fichier de nuage de point et données LIDAR développé par l'université des technologies de Vienne. Vienna university of technology (2017)

¹²⁹ En comparant le score Passmark qui détermine la puissance de calcul du processeur des smartphones, on constate une augmentation des performances de l'ordre de 1300% entre le Galaxy s4 de Samsung lancé en 2013 et le Galaxy S8 lancé en 2017. Android-benchmark (2017)

¹³⁰ Le premier casque de réalité nommée The Ultimate Display virtuelle a été conçu par Ivan Sutherland en 1968. Sutherland (1968)

Pour garantir un processus de mise à jour facile des informations relatifs à l'édifice, des repères constants ont été mis en place sur les parois intérieures et extérieures de l'édifice. Vu la complexité et les exigences de détails du commanditaire, le fichier final du scanne avait un volume de 1.4Tb, ce qui est une taille énorme, pour cela le fichier a été devisé en partie correspondantes aux bâtiments présents sur le site. Le livrable est constitué d'une maquette *BIM LOD 200* pour l'intérieur, et *LOD 300* pour l'extérieur, un modèle panoramique *Cloud Viewer* et des données en nuages de point.

Ce livrable a été utilisé pour servir de fond documentaire pour la gestion de l'édifice et servir de point de départs pour les opérations d'entretien, de réhabilitation et d'interventions futures. Vu la taille importante du site et sa fonction d'espaces d'expositions, certaines parties n'ont pas été relevées avec précision. Cependant, grâce au processus BIM des mises à jour futures de l'édifice sont envisageables dès que les espaces momentanément inaccessibles seront dégagés. Le potentiel offert par cette technologie pour intégrer de nouvelles formes de muséographie en ligne permet d'atteindre un public large, vu les distances géographiques importantes que permet de couvrir le réseau mondial d'internet.

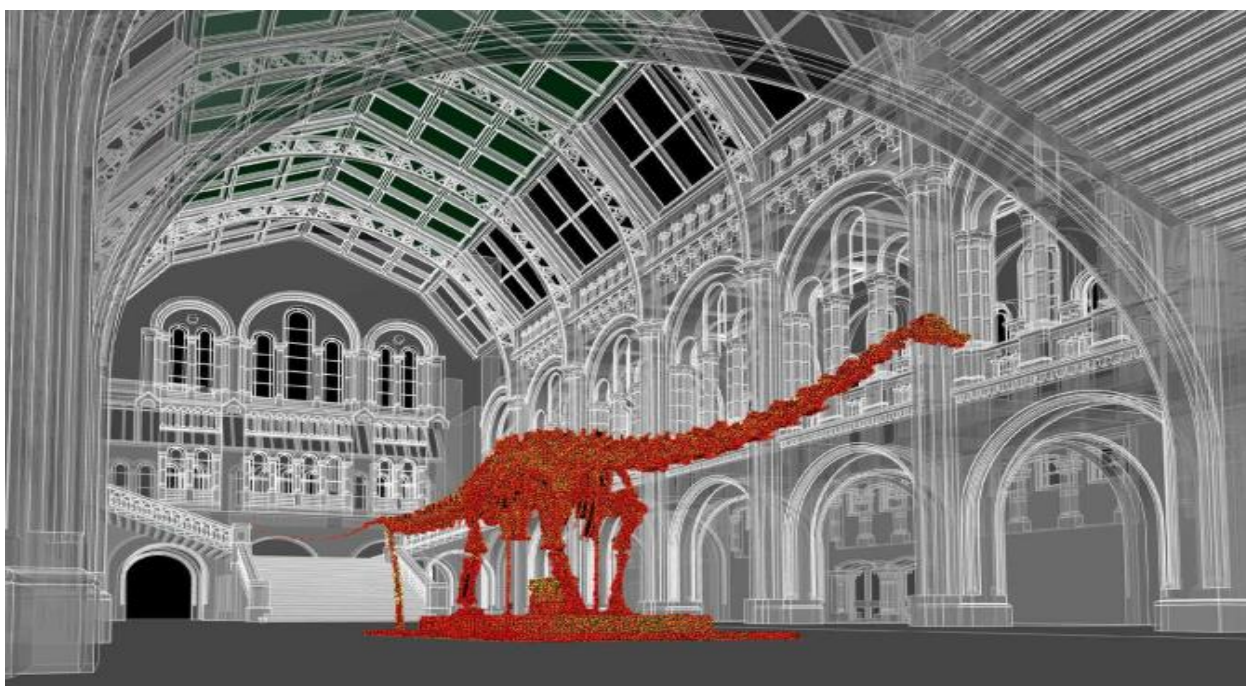


Figure 15: Les objets sensibles et les volumes importants créent des obstacles pour les scanners lasers.
Source : (Antonopoulou and Bryan, 2017).

Inland Steel Building, Monroe Street, Chicago:

Siège la société Inland Steel, ce bâtiment construit durant les années cinquante par l'agence Skidmore, Owings & Merrill se compose de deux structures adjacentes, la première fait 19 étages et regroupe l'ensemble des bureaux, la deuxième abrite les espaces de services et avec 25 étages. Le bâtiment offre plus de 28.000 m² de surface construite et représente l'esprit et la puissance de l'entreprise spécialisée dans l'industrie sidérurgique. En 1998, la société ArcelorMittal avait acquis le bâtiment. Durant cette même année, il a été désigné monument de la ville de Chicago¹³¹.

En 2005, Frank Gehry et Harvey Camins rachètent l'édifice pour le revendre ensuite à Richard Cohen. Ce dernier charge l'agence SOM¹³² du projet de rénovation dans le cadre d'une stratégie globale qui vise à le mettre à jour et à obtenir la certification LEED Platinum¹³³. Pour profiter d'avantages fiscaux la société réussit en 2009 à classer l'édifice dans le registre national des lieux historiques¹³⁴. Malheureusement la crise financière fait que la rénovation n'a pas été menée à terme et le bâtiment se retrouve inoccupé à moitié¹³⁵.

Cet édifice représente un cas d'étude intéressant. En effet, *Haley West*¹³⁶ a choisi ce projet comme cas d'étude dans le cadre de sa thèse pour les raisons suivantes : « *La disponibilité d'un fond documentaire riche, la nature modulable du bâtiment qui implique un nombre limité de composants [...] l'utilisation du BIM pour documenter un bâtiment en utilisation s'avère être intéressant [...] Enfin le conflit entre SOM et Chicago Landmark à propos de certaines propositions peut être un point de départ pour simuler les différents scénarios de design* »¹³⁷. L'auteur rajoute une autre raison, née d'une convection personnelle qui cherche à attirer l'intérêt sur les bâtiments de nature commercial datant du milieu du siècle dernier.

¹³¹ Par la ville de Chicago pour l'impact historique qu'a eu l'entreprise sur l'histoire de la ville, et comme bâtiment emblématique de l'architecture moderne. City of Chicago (2010)

¹³² Skidmore, Owings & Merrill LLP est une des plus grande agence d'architecture dans le monde avec plus de 10.000 projets à travers le monde depuis 1936, spécialisée dans le design intérieur, l'ingénierie et l'aménagement urbain. Le client a choisi la même agence qui à réaliser le projet dans les années 50s pour sa rénovation.

¹³³ Leadership in energy and environment design. Système d'évaluation des performances énergétique et environnementale le plus utilisé au monde. Green building council (2017)

¹³⁴ National register of Historic Places. Liste officiel des lieux à préserver, autorisé par le National Historic Preservation Act de 1966. Géré le National park service. National Park Service (2017)

¹³⁵ Van and West (2012)

¹³⁶ Van and West (2012)

¹³⁷ Van and West (2012)



Figure 16: Inland steel Building, Chicago.

Source: (Van and West, 2012)

Notre analyse de cette thèse, similaire dans ces objectifs à notre travail a permis d'analyser la méthodologie employée. En effet, le Inland steel Building (Figure 16) représente des similitudes avec '*la Halle Volta*', notre cas d'étude. En premier lieux, les deux édifices présentent une structure métallique composée de modules répétitifs et dans les deux cas les espaces sont occupés. Enfin, ce travail cherche aussi à attirer l'intérêt sur une typologie de bâtiment qui présente peu d'intérêt à savoir les structures industrielles datant du début du XXème siècle en Algérie.

À travers sa thèse, l'auteur a profité du modèle BIM qu'il a lui-même créé pour comparer les deux propositions d'enveloppe de SOM. La première reposait sur un système de double peau qui permet de profiter du principe d'ascension thermique¹³⁸ pour assisté le système de ventilation existant. Cette proposition a été rejetée par le *Chicago Landmark service*¹³⁹ qui a exprimé son inquiétude quant à l'impact de cette enveloppe sur l'aspect du bâtiment. L'intervention a été jugée trop extrême. La deuxième proposition approuvée

¹³⁸ Phénomène ou l'air chaud monte vers le haut.

¹³⁹ Département du conseil municipal de Chicago chargé de la gestion des Bâtiments et sites emblématiques selon l'ordonnance sur les Chicago Landmarks. City of Chicago (2018)

par le *Chicago Landmark service* et est similaire à celle qui a été employée sur le projet du *Lever House*¹⁴⁰ avec un vitrage teinté d'une couleur verte, (Figure 17).

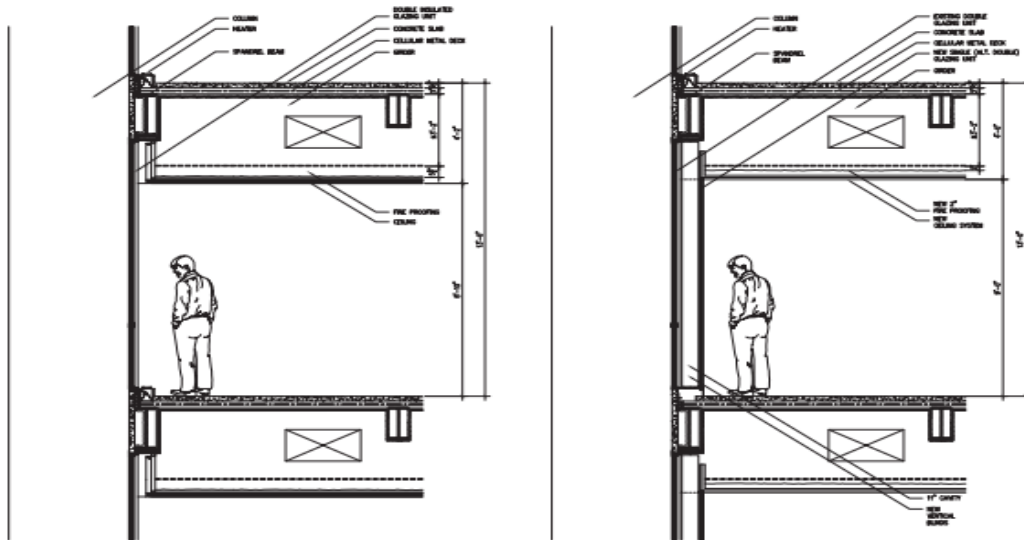


Figure 17: Propositions d'enveloppe de l'immeuble *Inland Steel Building*.
Source : (Van and West, 2012).

Pour cela, il a fallu modéliser les deux familles de murs rideaux, et utiliser *Autodesk Green Building studio*¹⁴¹ pour réaliser des simulations de ces propositions. En effet, la double peau offre de meilleures performances thermiques. Cependant, la simulation confirme les inquiétudes du *Chicago Landmark service*. La réflexion de la deuxième paroi de verre a énormément impacté l'aspect du bâtiment (Figure 18). Ainsi, malgré les performances inférieures de la deuxième proposition, elle reste la meilleure option pour préserver une partie de l'authenticité de l'édifice.



Figure 18: Le mur rideau existant, le mur rideau double peau et la simulation des gains solaires en hiver.
Source : (Van and West, 2012).

¹⁴⁰ Immeuble situé à Park Avenue New York dessiné par SOM, datant de 1952 qui présente une enveloppe vitrée et une forme similaire au *Inland Steel Building*.

¹⁴¹ Utilisé pour son format facile à utiliser et les résultats schématisés d'une façon efficace et facile à comprendre.

La modélisation de la maquette a permis aussi d'évaluer les performances énergétiques actuelles de l'édifice, malgré sa conception datant des années cinquante, et sa filiation au style international qui préconise des volumes simples, essentiellement en forme de boîtes en verre. La simulation fait l'état de la conformité de l'édifice au standard *U.S. EPA Energy Star*¹⁴². L'effort déjà fournis pour générer ces simulations peut aussi être employé pour créer un registre des données de consommation énergétiques basé sur les données climatiques historiques de chaque année et croiser aux archives de factures et de gestion de l'édifice et de sa consommation en électricité. Ceci permet d'évaluer les performances énergétiques des constructions sur une période importante et tirer des conclusions qui peuvent profiter à leur mise en état pour accueillir de nouvelles activités, voire de bases de données utiles pour la conception de nouveaux bâtiments.

En parlant de base de données, l'auteur propose de profiter de solution de gestion de bases de données plus pousser à l'exemple de Microsoft Access¹⁴³ dans le dessein de mieux gérer l'information écrite et les images. Il imagine des situations où les pièces de fourniture sont répertoriées avec des photos et textes pour ensuite, être positionnées sur le plan en créant un lien entre Revit et Access. On peut pousser cette réflexion pour imaginer même la synchronisation¹⁴⁴ entre les bases de données déjà existantes des services divers de gestion du patrimoine et la maquette numérique en cours de création pour enrichir son contenu et gagner en temps et efforts.

¹⁴² Organisme soutenu par le gouvernement des États-Unis qui vise à améliorer l'efficacité énergétique. ENERGY STAR (2017)

¹⁴³ Logiciel de création et gestion de base de données de l'éditeur Microsoft. Microsoft (2017)

¹⁴⁴ Une fonctionnalité déjà offerte par Revit.

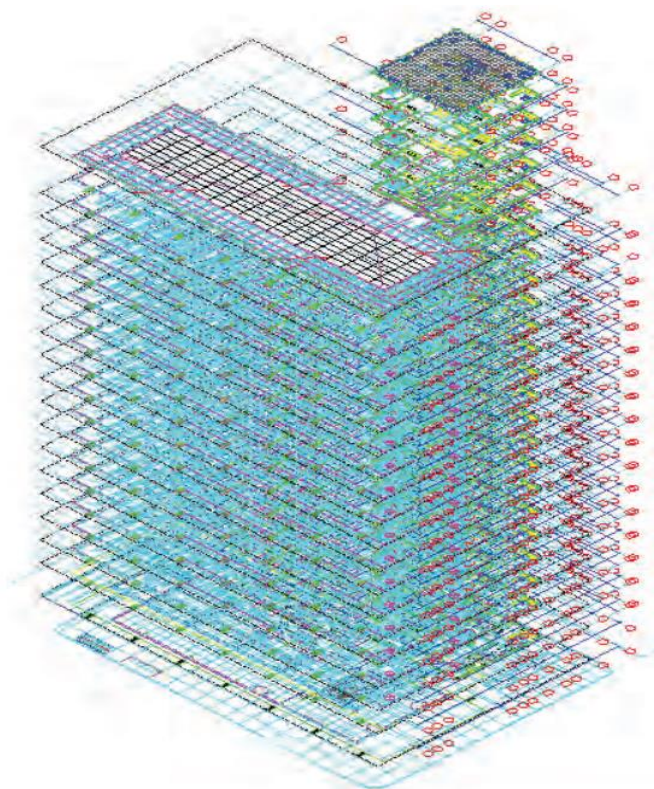


Figure 19: Utilisation des plan DAO Autocad pour générer la maquette BIM sur Revit.
Source : (Van and West, 2012).

L'analyse de cette thèse nous a permis de se poser d'autres questions. En effet, on ne peut qu'imaginer la difficulté de relever cet édifice avec des stations lasers vu ses dimensions importantes, surtout en hauteur. Sans oublier, le fait qu'il soit toujours occupé par des usagers. L'auteur affirme avoir utilisé le fond documentaire riche de dessins et de données DAO pour modéliser sa maquette BIM (Figure 19). Il profite ainsi de la nature modulaire de l'édifice mais aussi de la disponibilité graphique dessinée dans le moindre détail pour ce qui concerne la charpente métallique pour faciliter le processus de création du fichier BIM.

Cependant, le facteur temps semble avoir été omis de ce travail. En effet, bien que les éléments composant la construction aient été fabriqués en série, on ne peut que s'interroger sur l'impact de plus de 50 ans sur leur état matériel et les éventuelles déformations qu'ils pourraient présenter aujourd'hui. Ces altérations ne peuvent être représentées qu'en se basant sur un nuage de point. Ainsi, il serait intéressant de développer une réflexion sur le degré de précision nécessaire à la création de la maquette en rapport avec la nature de l'édifice et les objectifs du travail et son urgence, en s'inspirant de système déjà mis en place à l'exemple de la norme *LOD*.

Chapitre 3 : Application du BIM à la monographie d'architecture cas d'étude Halle Volta

1. Introduction la monographie d'architecture et au processus BIM intégré :

Cette partie du mémoire est dédiée à l'application des connaissances acquises tout au long des chapitres précédents en mettant en place un *Processus BIM* appliqué au patrimoine. Ceci se traduit par l'étude et l'utilisation du BIM comme support pour la monographie d'architecture. Il faudra noter que l'objectif de ce travail n'est pas d'aboutir à une monographie d'architecture classique, on cherche plutôt à expérimenter l'application du processus et de focaliser l'effort sur les apports qu'offre le BIM à cette méthodologie d'étude du patrimoine¹⁴⁵.



Figure 20: Photo actuelle de la façade ouest de la Halle volta.
Source : l'auteur

Cette monographie sera appliquée à la *Halle Volta* (Figure 20), elle fait parties des exemples de l'architecture industrielle datant de la fin du XIXème siècle de la ville d'Alger. Elle présente des particularités sur le plan architectural, spatial et historique qui en font une œuvre qui mérite d'être étudié. Cette étude pourrait servir un jour comme un point de départ pour des efforts de mise en valeur et d'exploitation meilleure de ce bien¹⁴⁶, voir constituer l'amorce d'un dossier de classement. Il faut souligner l'intérêt sur le plan historique, architectural, urbain et socio-économique de cette catégorie d'édifices souvent délaissée et oubliée.

¹⁴⁵ Le choix s'est porté sur la monographie d'architecture du fait qu'elle représente une référence souvent utilisée dans le cadre de l'inventaire algérien. À noter que d'autres méthodologies d'étude du patrimoine existe de par le monde.

¹⁴⁶ Malheureusement la halle est utilisée actuellement comme dépôt de marchandises pour une entreprise privée.

Nous allons commencer par essayer de comprendre la monographie d'architecture. Ainsi dire, Jean-Marie Pérouse de Montclos affirme que « *la théorisation de l'articulation entre le texte et l'image, visent à mettre en place une méthodologie descriptive raisonnée pour une meilleure économie du discours sur l'objet concerné ... Qu'il s'agisse de villes ou d'édifices, mais la préparation de synthèses les plus précises possible, permettant de donner les caractéristique des œuvres en les situant dans l'espace et dans le temps.*»¹⁴⁷. En effet, l'objectif de cette méthodologie est de créer une base commune d'étude, de description et d'analyse des édifices, afin de pouvoir comparer les résultats et d'en tirer des conclusions.

On peut ainsi désigner des représentatifs d'un « type »¹⁴⁸ grâce à ce recoupement des informations collectés. Cette méthode a fait l'objet d'un manuscrit diffusé dans les services régionaux de l'inventaire au courant de l'année 1978. Aujourd'hui, un ouvrage intitulé **Documents & Methodes, n° 10 : La monographie d'architecture**¹⁴⁹ est diffusé par le ministère de la culture comme référence pour l'inventaire général français. Ce document sert comme outil pour une démarche pragmatique. Cependant, la monographie peut présenter des complications typiques des spécificités de chaque édifice.

La première étape de cette méthodologie consiste en une recherche historique¹⁵⁰, qui sert de repère pour confronter l'analyse des chercheurs. Ceci se traduit par une étude des travaux antérieurs qui traitent du même objet, mais aussi des sources présentes sur l'édifice à l'exemple des inscriptions de marque de tacherons. L'étape suivante consiste en une description, elle représente une phase essentielle du travail de la monographie d'architecture. Dans ce contexte *le BIM* peut devenir un outil puissant qui permettra d'enrichir cette étape. Nous allons démontrer dans ce qui suit, les points que l'on a pu relever et où le BIM pourrait être introduit pour faciliter le processus et permettre une meilleure lecture d'ensemble.

En effet, la description est constituée de textes, d'images et de documents graphiques. La maquette numérique pourrait regrouper l'ensemble de ces informations en un seul fichier centralisé qui peut être facilement répertorié et partagé et même

¹⁴⁷ Pérouse De Montclos (2002)

¹⁴⁸ L'étude d'un échantillon suffisamment important au fil du temps, permettra de dégager des spécificités monographiques et apporter des éclaircissements sur l'édifice mais aussi sur son contexte.

¹⁴⁹ Pérouse De Montclos (2002)

¹⁵⁰ Sauf cas urgent où on risque de perdre ou de voir se dégrader les biens en question. Pérouse De Montclos (2002)

éventuellement mis en ligne avec un contrôle d'accès approprié. Jean-Marie Pérouse De Montclos, met en garde contre l'utilisation excessive de la photographie¹⁵¹ au détriment du reste des composants de la description¹⁵². Ainsi, il faudrait se méfier de tomber dans le même piège avec *le BIM* et l'intégrer d'une façon efficace afin de servir la monographie et éviter de laisser le logiciel primer sur la méthodologie¹⁵³. Le relevé est d'une importance primordiale, il permet d'assurer la bonne compréhension de l'édifice dans son état actuel. Là, les chapitres précédents nous ont permis de distinguer les possibilités qu'offrent des techniques comme le relevé laser qui génère des nuages de point très précis de l'existant.

Enfin, la conclusion vient clôturer la monographie d'architecture, dans cette partie on cherche à synthétiser la description et à la croiser avec l'historique pour affirmer les hypothèses émises durant les étapes précédentes. En effet, l'auteur insiste sur l'étude de l'homogénéité de l'édifice et de sa datation. Il affirme ensuite que l'objectif final de toute monographie réside dans la restitution des états antérieurs de l'édifice, grâce à des simulations pour comprendre son évolution et enfin placer l'œuvre dans l'évolution générale de l'architecture¹⁵⁴ et son contexte historique et spatial vise à vis des autres œuvres constituant l'inventaire général.

Par rapport au Processus BIM utilisé, nous allons opérer sur le logiciel Revit en sa version 2017. Le choix de ce logiciel s'explique par sa forte présence sur le marché mondial des solutions BIM¹⁵⁵, la disponibilité de License complète d'usage offerte gracieusement aux étudiants, son intégration dans une plateforme assez développée qui compte d'autres solutions logiciels édités toujours par Autodesk dans les mêmes conditions de gratuité et enfin l'abondance d'exemples d'application du BIM au patrimoine utilisant ce logiciel à l'exemple des projets traités plus haut. Cependant, il faut noter que les solutions développées dans ce mémoire sur ce logiciel pourront être appliqués en grande partie sur d'autres solutions de logiciels à l'exemple d'ArchiCAD. En

¹⁵¹ Qui été à l'époque un outil nouveau.

¹⁵² Pérouse De Montclos (2002)

¹⁵³ Dans le sens où il ne faudra pas laisser les limites des logiciels utilisés contraindre le résultat et le développement de l'étude de l'édifice.

¹⁵⁴ Pérouse De Montclos (2002)

¹⁵⁵ Selon The National BIM report 2016, en Angleterre Revit est le leader avec 31% de part de marché pour la production de documents graphiques. Waterhouse (2016)

effet, le logiciel ne représente que l'outil d'une démarche globale appliqué à une méthodologie déjà établie¹⁵⁶.

2. L'apport du BIM à la recherche historique en monographie d'architecture :

Il est de coutume que la monographie d'architecture débute par une recherche historique qui fouine sur les diverses sources de première ou de seconde main. Cette recherche doit par la suite évoluer et ne jamais s'arrêter. En effet, les édifices historiques connaissent une transformation dans le temps à l'image d'un être vivant qui s'interagisse avec son environnement. Le produit de cette première partie de la monographie se compose d'une compilation des sources et travaux historiques étudiés ou non, classé selon une logique expliquée dans le document méthodologique suscitée. Elle se compose aussi d'un historique qui jette de la lumière sur le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre ; les artisans et/ou chargés de réalisation, les dégradations qu'a connu l'édifice, les campagnes de restauration de consolidation et d'extension mais aussi les différentes stratifications qu'il a connu à travers le temps et les usages. Des illustrations et documents graphiques permettent de compléter le dossier monographique dans son volet descriptif architectural ; structurel et décoratif.

Ainsi, selon les sources consultées, l'édifice en question à savoir la *Halle Volta* date de 1898¹⁵⁷, édifié par l'atelier de construction de forge et fonderie *d'Hautmont Nord*¹⁵⁸ (Figure 21), pour le compte d'un certain Adolphe Dalaise directeur de la société omnibus d'Alger comme marché couvert. Cette halle a été édifée sur le terrain qu'occupait la villa Du-Jonchay sur la rue Ampère¹⁵⁹. En 1903, le marché avait fermé ses portes du fait de sa faible rentabilité¹⁶⁰, pour ensuite servir momentanément comme usine, puis dépôt au profit de la *société des tramways d'Alger*¹⁶¹.

Par la suite, la lecture historique nous renseigne aussi que la société des tramways d'Alger avait cédé le bien à la société de *l'Électricité et Gaz d'Algérie*. Cela avait duré soixante-six ans de 1903 À 1962¹⁶². En 1969, dans le cadre des grandes

¹⁵⁶ La monographie d'architecture comme méthodologie adoptée et diffusée par le ministère de la culture français.

¹⁵⁷ Municipalité d'Alger (1929)

¹⁵⁸ Information illustrée dans la plaque commémorative de l'édifice sur sa façade sud.

¹⁵⁹ Kebir (2016)

¹⁶⁰ Chaze (Juin, 1902)

¹⁶¹ Municipalité d'Alger (1929)

¹⁶² Municipalité d'Alger (1929)

réformes/révolutions du régime du président Houari Boumediene, la halle tout comme un bon nombre de ses semblables se transforma en ce que l'on appelait à l'époque Souk El Fellah¹⁶³ et avait ainsi repris son activité initiale de marché. Mais cela n'a pas trop duré, en effet. Ce type de magasin symbole d'une politique sociale vouée à l'échec qui a mené aux événements d'octobre 1988, et tous comme de bon nombreux 'Souks el Fellah', la halle avait été contrainte à fermer ses portes encore une fois.



*Figure 21: Plaque commémorative plaqué sur la façade sud de la Halle,
À lire*

*[SOCIÉTÉ ANONYME /. 1898 DES 1898 /. ATELIER DE CONSTRUCTION /. FORGES ET FONDERIE D'HAUTMONT /. A
HAUTMONT (NORD)].*

Source : l'auteur.

La décennie des années 1990 avec tous ce qui avait suivi comme procédures de cessions des biens de l'état avait conduit à sa vente à des groupes privés. C'est ainsi qu'en partie le Groupe privé *Civital* a pu acquérir la moitié de l'édifice pour ses besoins de stockage tandis que le reste a été repris par un ancien propriétaire et héritier de la société Électricité et Gaz d'Algérie qui n'est autre que la société de Sonelgaz¹⁶⁴.

Les travaux historiques identifiés ont pu être cités dans les paragraphes au-dessus, grâce à des recherches antérieurs très intéressants et qui en découlent d'une démarche

¹⁶³ Surfaces de vente mis en place dans le cadre d'une politique d'encouragement des agriculteurs et de contrôle des prix en Algérie, ces espaces ont été fermés suite à la crise de la fin des années quatre-vingts.

¹⁶⁴ Kebir (2016)

monographique classique¹⁶⁵. Ainsi, comme expliqué dans l'introduction de ce chapitre, notre travail ne tombe pas dans la répétition d'un déjà fait. **Il se focalisera sur les possibilités que peut offrir le BIM à la monographie d'architecture.** Ainsi, nous avons repéré trois points dans ce sens. Le premier consiste en la création d'une fiche historique relative à l'édifice dans la maquette numérique. Quant au second, il comprend l'utilisation de la maquette comme outil de mise en valeurs des éventuelles campagnes d'intervention sur l'édifice. Grâce à la datation de chaque élément constituant l'édifice pour permettre de reconnaître l'évolution à travers le temps de l'ouvrage. Enfin, des photos des inscriptions relatives à l'historique du bâtiment seront positionnées en concordance avec le relevé.

La fiche historique relative à l'édifice reprendra le modèle recommandé par la monographie d'architecture. Elle comportera entre autres, la date de début des travaux de réalisation, la date de fin des travaux, le maître de l'ouvrage, le maître de l'œuvre, l'entrepreneur et/ou les artisans, les incidents particuliers qu'a connu l'édifice et les campagnes d'extension et/ou de restauration. Cette fiche peut intégrer aussi la date de création de la maquette, les différentes mises à jours, les informations relatives aux chargés d'études, et une adaptation du niveau de développement *LOD* adéquate aux spécificités du patrimoine.

On peut alors, imaginer l'appellation *HLOD*, diminutif de « *historical level of Development* » comme paramètre indicatif de l'état du développement de la maquette. Ce paramètre serait bien utile lors de la reprise de la dite maquette par d'autres acteurs, ou pour intégrer de nouvelles informations et mettre à jour l'édifice, à la suite à une intervention ou évolutions dans son état. La mise en place d'une telle norme nécessite la participation d'un nombre considérable d'acteurs du secteur¹⁶⁶ pour l'étudier et créer une charte compréhensible qui couvre un maximum de possibilités tout en gardant une flexibilité¹⁶⁷. Le support d'un organisme officiel qui peut exiger ou recondamner son application permettra d'atteindre les objectifs de cette norme en incitant les praticiens du secteur à s'informer et à l'utiliser. Ceci permettra enfin de compte de mettre à jour d'améliorer ladite maquette grâce aux retours d'expériences acquis sur le terrain.

¹⁶⁵ Voir le mémoire de Kebir (2016)

¹⁶⁶ Ces acteurs doivent être familiarisés avec le BIM.

¹⁶⁷ Nécessaire pour prendre une charge les spécificités du domaine du patrimoine.

De ce fait, un système pareil ne relève pas des objectifs de ce mémoire pour des raisons pratiques et de temps, mais aussi par manque de références concrètes en nombre significatif. En effet, on ne peut se permettre de mettre en place ce système complexe (Figure 22) qui présente un impact aussi important sans dialogues avec les différents intervenants du domaine de la gestion du patrimoine¹⁶⁸. A cela s'ajoute l'absence du support d'institutions ou organisations reconnues nécessaires au succès d'un effort pareil. Ainsi, on propose d'utiliser une référence fictive appelée « HLOD200 » pour simuler la mise en place de cette norme et son intégration dans la fiche historique relative à la *halle Volta*.

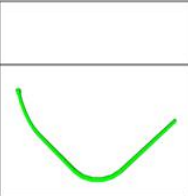
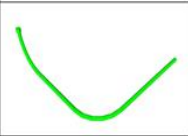
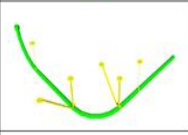
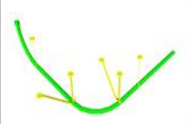
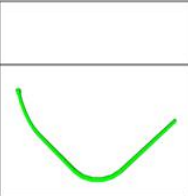
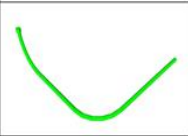
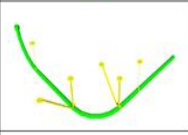
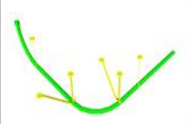
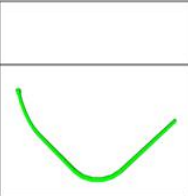
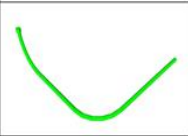
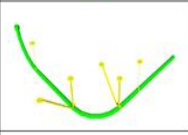
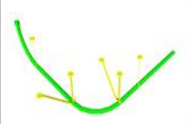
B3080 – Overhead Exterior Enclosures	47	<p>D1050.70 – Pneumatic Tube Systems</p> <table border="1"> <tr> <td>100</td> <td>Diagrammatic elements or quantitative call outs; conceptual and/or schematic flow diagrams; Non-graphic information associated with model elements includes minimal design performance information.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>Generic elements; schematic layout with approximate size, shape, and location of equipment and tubing; Non-graphic information associated with model elements includes design performance information.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>300</td> <td>Modeled as design-specified elements; specified size, shape, spacing, and location of equipment and tubing; approximate allowances for spacing and clearances required for all specified hangers, supports, vibration and seismic control that are to be utilized in the layout of all equipment and tubing; actual access/clearance requirements modeled.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>350</td> <td>Modeled as actual construction elements; actual size, shape, spacing, and location/connections of equipment and tubing; actual size, shape, spacing, and clearances required for all hangers, supports, vibration and seismic control that are utilized in the layout of all equipment and tubing; floor and wall penetrations modeled.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>Supplementary components added to the model required for fabrication and field installation</td> <td></td> </tr> </table>	100	Diagrammatic elements or quantitative call outs; conceptual and/or schematic flow diagrams; Non-graphic information associated with model elements includes minimal design performance information.		200	Generic elements; schematic layout with approximate size, shape, and location of equipment and tubing; Non-graphic information associated with model elements includes design performance information.		300	Modeled as design-specified elements; specified size, shape, spacing, and location of equipment and tubing; approximate allowances for spacing and clearances required for all specified hangers, supports, vibration and seismic control that are to be utilized in the layout of all equipment and tubing; actual access/clearance requirements modeled.		350	Modeled as actual construction elements; actual size, shape, spacing, and location/connections of equipment and tubing; actual size, shape, spacing, and clearances required for all hangers, supports, vibration and seismic control that are utilized in the layout of all equipment and tubing; floor and wall penetrations modeled.		400	Supplementary components added to the model required for fabrication and field installation	
100	Diagrammatic elements or quantitative call outs; conceptual and/or schematic flow diagrams; Non-graphic information associated with model elements includes minimal design performance information.																
200	Generic elements; schematic layout with approximate size, shape, and location of equipment and tubing; Non-graphic information associated with model elements includes design performance information.																
300	Modeled as design-specified elements; specified size, shape, spacing, and location of equipment and tubing; approximate allowances for spacing and clearances required for all specified hangers, supports, vibration and seismic control that are to be utilized in the layout of all equipment and tubing; actual access/clearance requirements modeled.																
350	Modeled as actual construction elements; actual size, shape, spacing, and location/connections of equipment and tubing; actual size, shape, spacing, and clearances required for all hangers, supports, vibration and seismic control that are utilized in the layout of all equipment and tubing; floor and wall penetrations modeled.																
400	Supplementary components added to the model required for fabrication and field installation																
C: INTERIORS	48																
C10 Interior Construction.....	48																
C1010 – Interior Partitions.....	48																
C1020 – Interior Windows	51																
C1030 – Interior Doors	52																
C1040 – Interior Grilles and Gates	54																
C1060 – Raised Floor Construction.....	54																
C1070 – Suspended Ceiling Construction.....	55																
C1090 – Interior Specialties	56																
C20 Interior Finishes	59																
C2010 – Wall Finishes.....	59																
C2020 – Interior Fabrications	60																
C2030 – Flooring.....	60																
C2040 – Stair Finishes	60																
C2050 – Ceiling Finishes.....	60																
D: SERVICES	61																
D10 Conveying.....	61																
D1010 – Vertical Conveying Systems	61																
D1030 – Horizontal Conveying.....	62																
D1050 – Material Handling	62																
D1080 – Operable Access Systems.....	64																
D20 Plumbing.....	66																

Figure 22: Extrait du Sommaire de la Spécification LOD 2013. On constate la complexité du système et sa richesse.

Source (BIMforum & AIA, 2016).

Pour créer cette fiche sur le logiciel Revit 2017, nous allons procéder en premier lieu à ajouter les informations avec l'outil « **paramètres de projet** » situé dans la catégorie « **gérer** », on introduira : **l'intitulé du paramètre, la discipline, le type et la catégorie** sous laquelle il sera regroupé. Vu la nature descriptive des informations contenues dans la fiche historique, nous allons choisir le type « **texte** »¹⁶⁹ pour nos paramètres afin de les introduire dans les champs adéquats. Il faut aussi s'assurer que la catégorie sélectionnée

¹⁶⁸ Toutefois, comme nous allons voir plus tard, cela pourrait être pris dans de futures pistes de recherches.

¹⁶⁹ Revit dans sa version 2017 offre plusieurs autres possibilités comme les informations de types : Longueurs, nombres, Surfaces, volumes, matériaux, images ...

pour chaque paramètre correspond à la catégorie « **information sur le projet** » (Figure 23).

L'étape suivante consiste en l'introduction des informations collectées avec la monographie d'architecture pour aboutir à une fiche du projet intégrée à la maquette. Pour cela, l'outil « *Informations sur le projet* » est utilisé. Ce dernier est également situé sous la catégorie « **gérer** », les champs à remplir seront regroupés comme texte comme démontrer dans la (Figure 23). Cette fiche peut être mis à jour en parallèle avec le développement du projet d'étude de l'édifice et l'apparition de nouvelles informations qui peuvent être introduit ultérieurement.

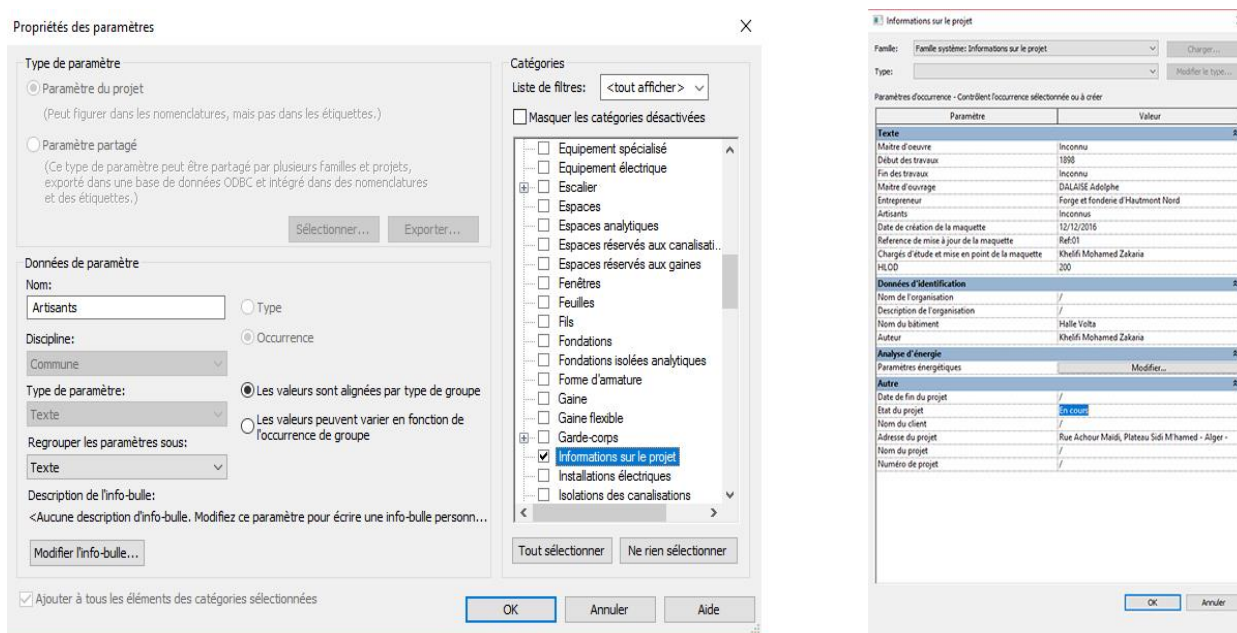


Figure 23: Création & renseignement des paramètres relatifs à la fiche historique de l'édifice sur Revit.
Source : l'auteur.

Le deuxième point où le *BIM* pourrait intervenir pour enrichir et faciliter la monographie d'architecture consiste en l'utilisation de la maquette comme outil de mise en valeur des campagnes d'intervention sur l'édifice grâce à la datation des éléments composant l'ouvrage. Cette opération permet de visualiser les différentes opérations d'extension, de restauration et de maintenance. Et ainsi, offrir une meilleure lisibilité de l'historique de l'édifice pour informer des actions futures de sauvegarde en déterminant l'âge de chaque composant de la structure, à titre d'exemple. Éventuellement l'accumulation de ces informations permet de générer une base de données qui regroupe

des études sur d'autres édifices¹⁷⁰ et ainsi d'identifier les périodes historiques, les matériaux utilisés. Les techniques employés et les risques que présentent ces paramètres sur l'intégrité et la survie de l'édifice.

Pour aboutir à la datation de chaque élément individuellement sur Revit, Nous allons créer un paramètre du projet intitulé « **datation** ». Dans l'onglet « **Gérer** », on utilisera la commande « **paramètres du projet** » pour ensuite ajouter la datation comme paramètre du projet commun à l'ensemble des disciplines, du type texte, et regroupé sous la catégorie texte comme illustré (Figure 24). Nous allons ensuite cocher l'ensemble des catégories pour s'assurer de l'application de ce paramètre à tous les composants de la maquette. Une fois terminée, nous allons procéder au renseignement de cette case présente dans les propriétés de chaque objet (Figure 24).

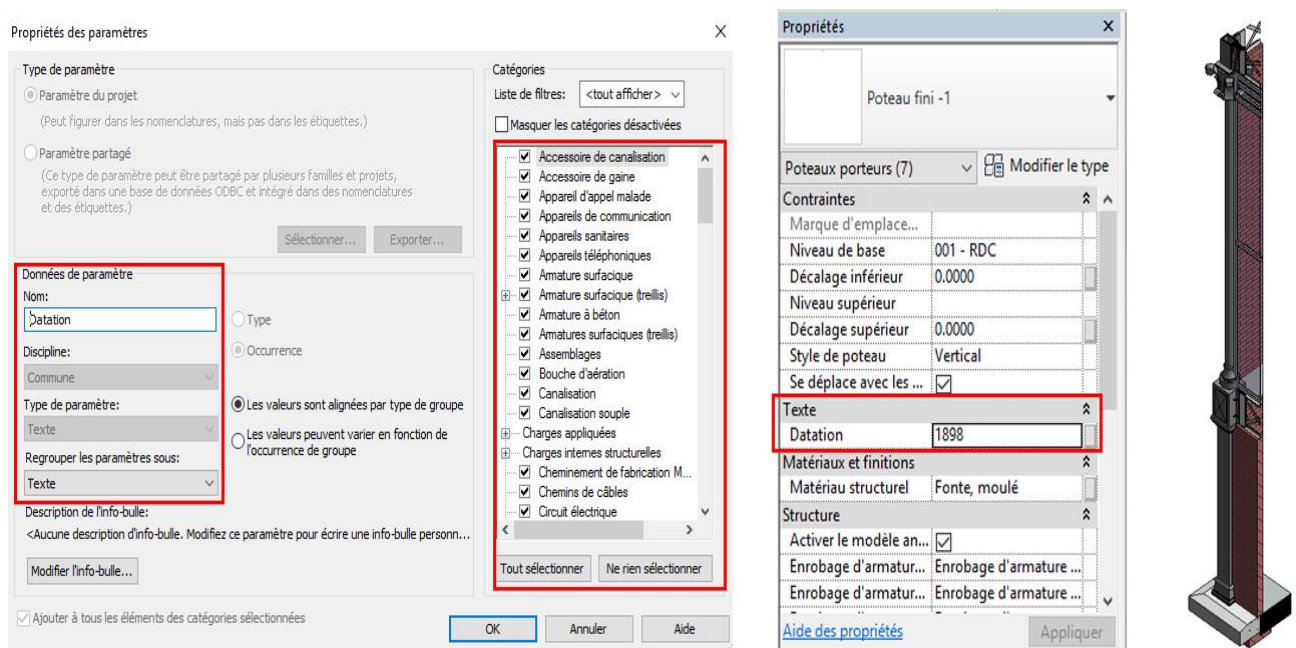


Figure 24: Création et renseignement du paramètre relatif à la datation des éléments sur Revit 2017.
Source : l'auteur.

L'intégration de ce paramètre permet aussi de distinguer les éléments graphiquement sur l'ensemble des illustrations. Cela se fait à l'aide de **couleurs prédéfinies** par l'équipe en utilisant l'outil « **filtre** » pour créer un profil adapté à chaque période. L'outil « **visibilité / graphisme** » permet d'appliquer ces filtres aux vues désignées et ainsi améliorer les différentes lectures graphiques de l'édifice (Figure 25). Dans la perspective de la démarche ébauchée plus haut, l'adoption d'une *charte HLOD*

¹⁷⁰ Cette base de donnée peut servir aussi comme outil d'identification des périodes historiques importante de l'histoire de l'architecture du pays en comparant un échantillon suffisamment large d'édifice et les différentes compagnes d'édification.

permettrait bien de mieux adapter *le BIM* pour une intervention dans des projets à valeur patrimoniale. Ainsi, on peut proposer une charte/code de couleurs prédéfinies déterminant les différentes époques historiques du pays¹⁷¹ d'une façon à assurer une homogénéité sur la totalité de la base de données des maquettes correspondantes à chaque édifice et les documents graphiques produits par la suite. On pourrait même envisager de croiser ces informations avec les données géographiques et historiques pour déterminer des aires d'influences de ces courants et périodes, dans l'objectif d'une meilleure compréhension de notre patrimoine.

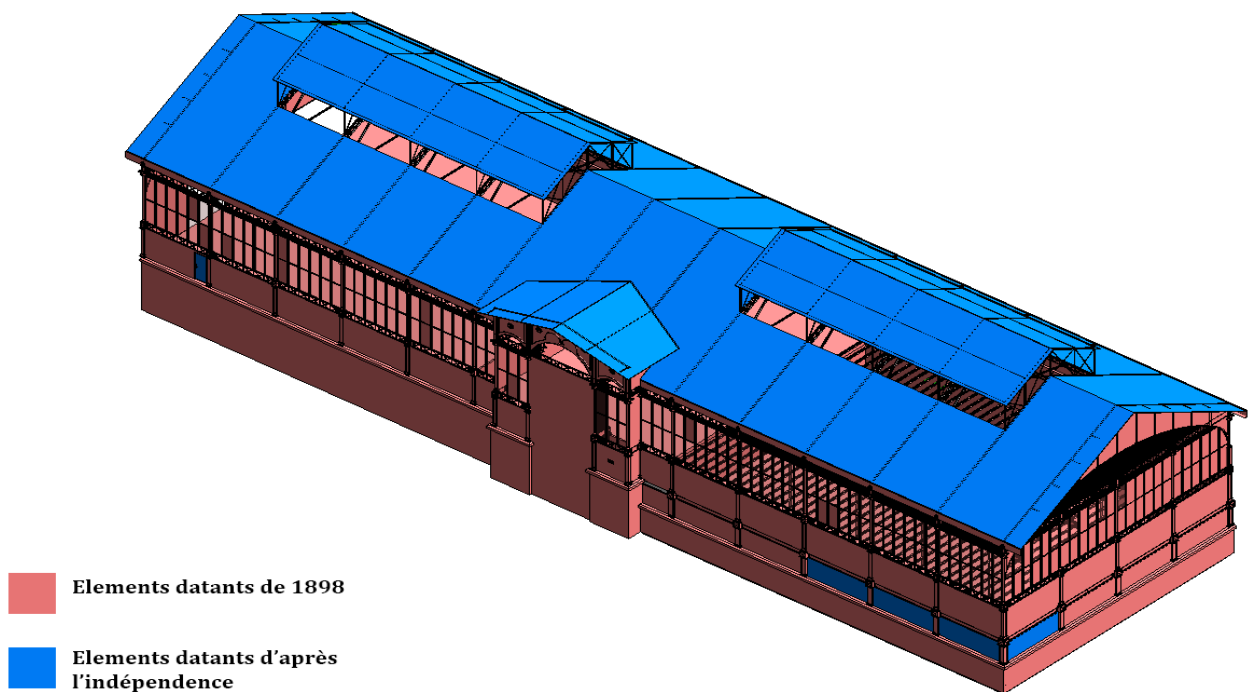


Figure 25: Axonométrie générée par Revit 2018.
Source : l'auteur.

Une autre possibilité consisterait à utiliser des paramètres de projet en les recoupant avec les tableaux de nomenclatures générés automatiquement par Autodesk Revit pour obtenir des tableaux récapitulatifs, quantitatifs et qualitatifs des composants de l'édifice¹⁷². Dans notre cas, le paramètre « Datation » a été pris en compte d'une façon automatique dans le tableau du vitrage de la *Halle Volta*. Ceci nous a permis d'économiser du temps et d'aboutir à un support de partage de l'information qui peut être facilement transmis sous format de fichiers Excel au profit des acteurs qui ne maîtrisent pas forcément les solutions BIM. Ces informations peuvent être intégrées à une base de

¹⁷¹ Par exemple le rouge pour l'époque colonial de 1828 à 1962 et ainsi de suite.

¹⁷² Plusieurs paramètres peuvent être créés et pris en charge dans les nomenclatures. Ceci représente un point positif dans l'intégration du processus BIM à la gestion du patrimoine et ses spécificités.

données de gestion qui générerait des notifications automatiques selon les travaux d'entretien planifiés et l'historique des interventions conduites sur l'édifice.

La (Figure 26) représente un schéma basique de fonctionnement d'une proposition pour la mise au point d'un plugin intégré à revit, ou d'une application Stand-alone¹⁷³ qui permettra de notifier les responsables de la gestion d'une bien sur les opérations d'entretien et d'interventions nécessaire à la sauvegarde de l'édifice. Cet outil d'aide à la décision¹⁷⁴ permet de recouper les informations relatives à l'état, l'âge, et les caractéristiques de l'objet à observer, avec les connaissances accumulés dans des projets de sauvegarde antérieurs, pour proposer d'une façon étudier les tâches à exécuter en priorité sur l'édifice. À noter qu'à l'heur de l'écriture de ces lignes nous n'avons pas trouvé de plugins ou de solutions informatiques qui présentent des fonctionnalités similaires.

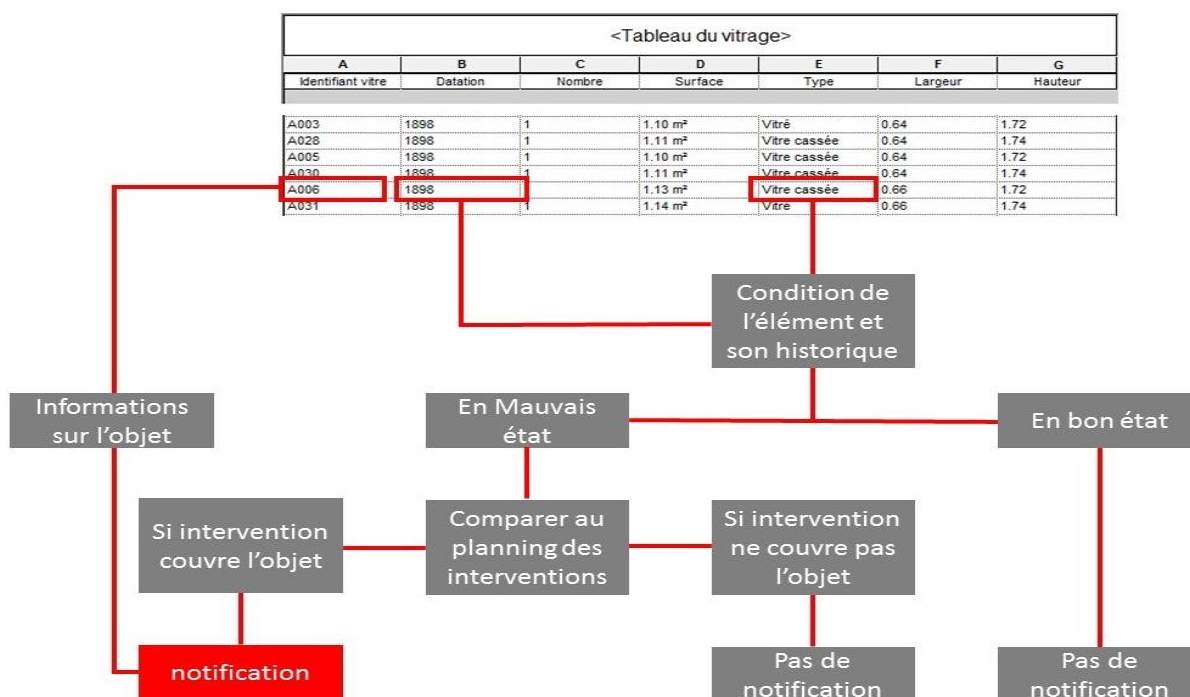


Figure 26: Schéma de principe de fonctionnement d'un plugin pour Revit
(Il s'agit d'une application indépendante de notification des interventions basée sur les données générées par le processus BIM).
Source : l'auteur.

Le dernier point à démontrer dans ce sous-chapitre traitant de l'apport du BIM à la recherche historique dans la monographie d'architecture consiste en l'intégration des photos prises sur site à la maquette numérique pour indiquer les marques de tâcherons,

¹⁷³ Outil ou système ayant la capacité d'opérer indépendamment de tout autre outil ou système. Farlex Inc. (2014)

¹⁷⁴ Ces outils sont classifiables en plusieurs catégories selon leurs finalité : analyser une problématique, rechercher des causes à l'origine de la situation, trouver les solutions possibles, hiérarchiser les meilleures options, choisir la solution la plus adaptée. Manager GO ! (2017)

les plaques de fondation, les croix de consécration et autres inscriptions présentes sur l'édifice étudié. Dans notre cas d'étude, on constate la présence sur la façade sud de la Halle d'une plaque de fondation. Cette plaque est le support des inscriptions suivantes « SOCIETE ANONYME /. 1898 DES 1898 /. ATELIER DE CONSTRUCTION /. FORGES ET FONDERIE D'HAUTMONT /. A HAUTMONT (NORD) »¹⁷⁵.

À travers notre analyse du document N° 10 relatif à la méthodologie de la monographie d'architecture, on constate que De Montclos met en garde contre l'utilisation systématique de l'image¹⁷⁶, il avance que « *L'utilisation croissante de la photographie a modifié cette situation, mais pas de la manière qui aurait dû s'imposer. Au lieu d'en venir à une spécialisation des fonctions respectives du texte et de l'image comme supports de la représentation de l'œuvre, l'archéologue et l'historien de l'architecture prirent bien souvent l'habitude de ne voir l'œuvre qu'à travers l'objectif du photographe et de faire du texte une sorte de paraphrase de la photographie.* »¹⁷⁷. Notre vision de l'utilisation du processus BIM dans la monographie d'architecture cherche non pas à remplacer le texte, l'image et la documentation graphique mais plutôt de les intégrer dans la maquette d'une façon à mieux hiérarchiser et partager l'information. Ainsi, la maquette deviendrait plutôt un support centralisé plus complet, conventionnel et facilement accessible pour l'ensemble de ces données.

Pour aboutir à l'intégration de cette plaque à la maquette BIM de l'édifice créée sur Revit, nous avons utilisé une photo prise sur site d'une façon à assurer une bonne lisibilité et le moindre degré de distorsions possible. Cette photo a été traitée par le logiciel Photoshop¹⁷⁸ pour faciliter l'étape suivante qui consiste en la modélisation de cette plaque sur Revit 2017. Ainsi, l'outil « **créer composant in-situ** » permet de générer une volumétrie libre, cette volumétrie sera basée sur l'image traitée importée et redimensionnée avec la commande échelle pour servir de base à notre dessin. Le type de famille¹⁷⁹ choisi pour la matérialisation de cette plaque est « **volume** ». Ceci s'explique par le degré de liberté offert par ce type de famille et sa facilité de manipulation.

¹⁷⁵ Texte transcrit selon la méthodologie présentée dans l'ouvrage de référence de l'étude la monographie d'architecture. Pérouse De Montclos (2002)

¹⁷⁶ Pérouse De Montclos (2002: 24)

¹⁷⁷ Pérouse De Montclos (2002)

¹⁷⁸ L'utilisation de Photoshop vise à réduire la distorsion due à la perspective, et ainsi à retrouver une sorte de projection orthogonale de l'objet.

¹⁷⁹ La notion de famille est propre au logiciel Revit, elle définit un groupe d'éléments ayant des propriétés communes appelées paramètres, et une représentation graphique similaire. Autodesk (2018b)

Dans le cas où nous avons pu avoir à notre disposition des systèmes de relevés laser, on aurait opéré au relevé de cette plaque pour obtenir des nuages de point. Ces nuages peuvent être ensuite exportés puis traités manuellement pour aboutir à une représentation géométrique plus précise comme ce fut le cas dans les projets cités comme exemple. Il serait intéressant de pousser la réflexion pour créer un processus de reconnaissance automatique¹⁸⁰ des inscriptions présentes dans les nuages de points relevés en les comparant à des bases de données linguistiques, mais aussi des bases contenant les pictogrammes, emblèmes, signes et autres inscriptions typiques à des ouvrages déjà étudiés ou à des styles, régions ou périodes historiques bien précises. Un tel processus peut prendre la forme de solution logiciel à part entière ou de plugin, grâce à une technologie d'intelligence artificiel et de reconnaissance faciale de plus en plus évoluée, il présenterait un intérêt particulier pour renseigner les chercheurs sur des inscriptions qui n'ont pas été repérées au préalable de scanne, et profiter ainsi de la précision de la technologie laser afin d'enrichir et d'approfondir nos connaissances sur les édifices étudiés.

Après avoir illustré d'autres possibilités pour l'intégration de cette plaque commémorative à la maquette BIM de la halle, nous allons traiter maintenant de l'intégration de l'image de cet élément à la maquette pour l'enrichir et centraliser l'information. Ceci permettra de faciliter le partage de l'information et sa préservation en la hiérarchisant dans un fichier unique. Cette option s'avère être un atout important dans le cas où la modélisation des inscriptions n'est pas entreprise¹⁸¹ en mettant à disposition un support qui faciliterait la compréhension des inscriptions. Un autre cas de figure réside dans des situations où les inscriptions seraient fortement endommagées. Ici, la mise à disposition de la photographie en plus de l'inscription modélisée servira de base pour un travail futur avec éventuellement plus d'éléments de réponse ce qui permettrait de confronter une vision antérieure à de nouvelles données et de mettre à jour ainsi la maquette¹⁸².

¹⁸⁰ À l'exemple des applications de reconnaissance d'écriture présente sur les ordinateurs et smartphones androïdes basés sur l'intelligence artificiel qui profitent de la présence de bases de données importantes pour apprendre.

¹⁸¹ Pour des raisons de coûts, de temps ou pour permettre d'alléger la géométrie du fichier et ainsi faciliter son exploitation par des machines peu puissantes.

¹⁸² Citons l'exemple des hiéroglyphes qui n'ont pas été déchiffrés qu'à partir de 1822 par Champollion. Don Cameron (1960)

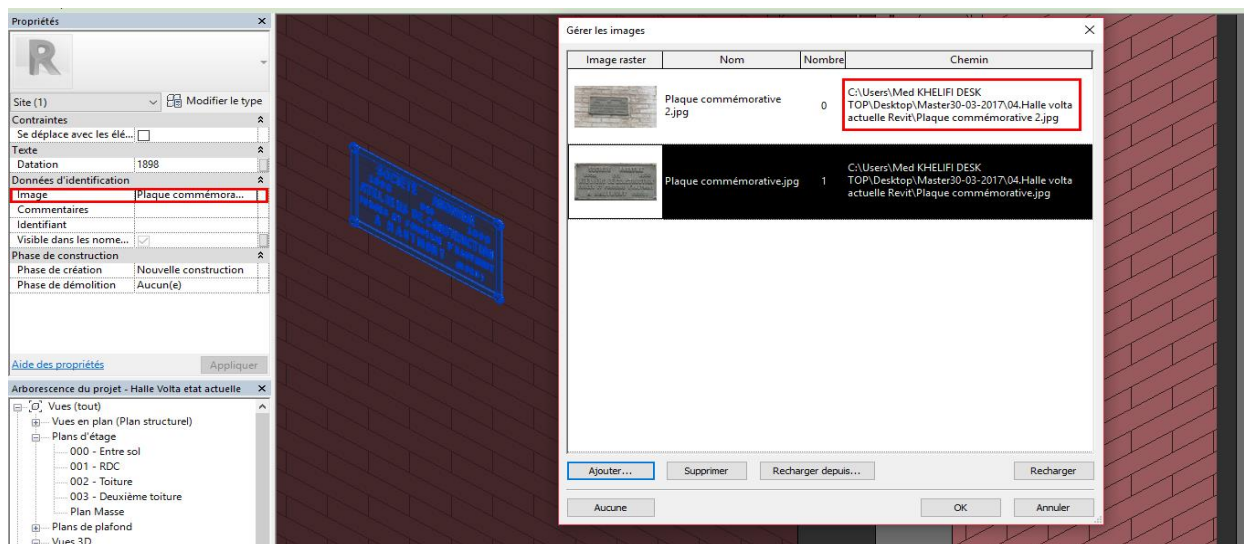


Figure 27: Intégration des photographies prises de la plaquette commémorative sur Revit 2017.
Source : l'auteur.

Pour intégrer ces photographies à la maquette générée sur Revit, nous allons utiliser le paramètre « **Images** » présent dans la catégorie « **données d'identification** » de la plaque modélisée. L'étape suivante consiste en l'indication du chemin de l'image présente sur le support de stockage (Figure 27). On notera la possibilité d'ajouter plusieurs images d'un seul élément, ceci permet d'enrichir la maquette et d'offrir plus de flexibilité au long de son évolution. Enfin, on ne peut que constater encore une fois l'utilité de l'implantation d'une norme relative à l'application du BIM au patrimoine, nous l'avons nommé '*HLOD*' comme expliqué plus haut. Dans ce cas de figure cette norme indiquera la façon dont serait mis en place la hiérarchie du dossier numérique contenant la maquette. En effet, l'ensemble des documents¹⁸³ qui ont conduit à la création de la maquette devrait être sauvegardé et mis à dispositions sous forme de dossiers organisés selon les directives de cette éventuelle norme.

1. L'apport du BIM dans le relevé de la monographie d'architecture :

Dans la troisième partie de ce chapitre nous allons traiter de l'apport du BIM au relevé de la monographie d'architecture. Le choix de développer ce sujet avant la description¹⁸⁴ se justifie par une volonté d'expliquer le processus de base qui a permis la modélisation de la maquette numérique de la *Halle Volta*. Cette maquette qui

¹⁸³ À l'exemple des nuages de points lasers, photographies, textes historiques...

¹⁸⁴ Contrairement à Jean-Marie Pérouse de Montclos qui a commencé à présenter la description en monographie d'architecture avant de passer au relevé comme partie de la description.

représenterait ensuite le support pour la description de l'édifice. Par rapport au plan d'organisation du travail sur le terrain, le relevé précède généralement la description détaillée de l'édifice. Nous allons capitaliser les informations tirées du chapitre précédent, qui avait permis de mettre de la lumière sur plusieurs démarches novatrices utilisées à travers le monde pour aboutir à des relevés fiables. En effet, ces procédés profitent de technologies de pointe, de la puissance de calcul qui ne cesse d'augmenter et d'outils issus d'autres industries¹⁸⁵ pour aboutir à des relevés de plus en plus détaillés.

Le relevé en monographie d'architecture est composé d'un ensemble de documents graphiques regroupés en 7 catégories : la première catégorie regroupe les cartes, plans de situations et plans de masse. Elle permet de localiser l'édifice et de comprendre son rapport avec l'environnement et/ou le tissu qui l'entoure. Elle se compose au minimum d'un plan de situation et d'un plan de masse au 1/500e¹⁸⁶. Dans ce sens, le BIM met à dispositions des outils de géolocalisations avancés intégrés dans la majorité des solutions logiciels. Ces données peuvent être utilisées pour le positionnement des édifices dans un système d'informations géographiques « SIG »¹⁸⁷.

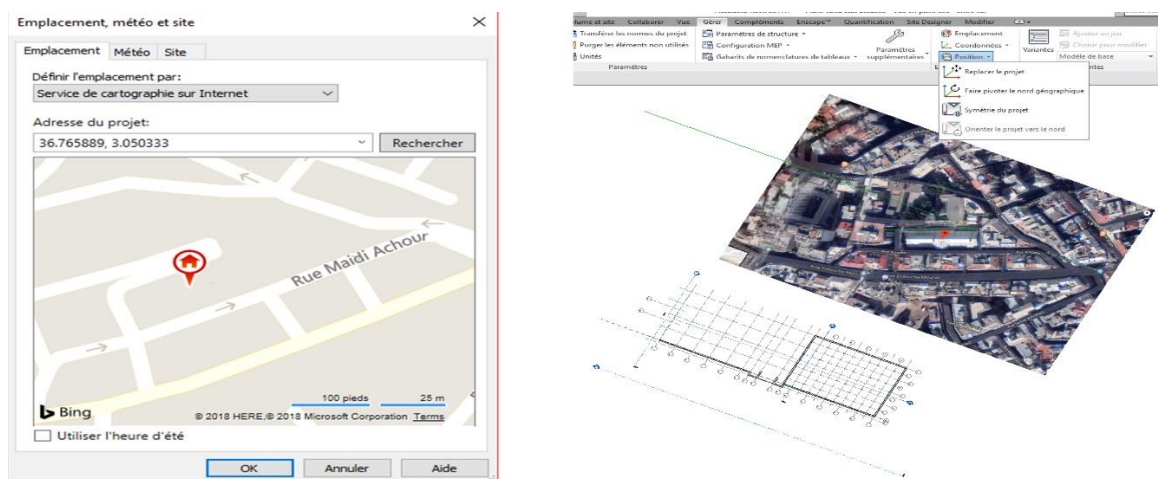


Figure 28: Utilisation de la commande emplacement et pivoter
(À gauche : indiquer les coordonnées géographiques / à droite : pivoter le nord géographique)
Source : l'auteur.

La maquette réalisée dans le cadre de ce master qui traite de la *halle Volta* intègre les coordonnées géographiques avec le logiciel Revit 2017. Revit permet de repérer l'édifice grâce à la commande « emplacement » présente dans l'onglet gérer (Figure 28). Nous avons pu récupérer les coordonnées géographiques en se déplaçant sur place et en

¹⁸⁵ À l'exemple des drones utilisés pour les relevés.

¹⁸⁶ Pérouse De Montclos (2002)

¹⁸⁷ GIS Solutions, leader mondial du domaine définit le SIG comme étant une technologie de cartographie intelligente qui permet d'analyser l'information et de mieux étudier les relations spatiales pour tirer des modèles et connexions. GIS Solutions (2017)

utilisant le module GPS d'un smartphone¹⁸⁸, bien que cette solution demeure improvisée et due à l'indisponibilité de module GPS professionnel lors de notre visite, elle donne un résultat assez correct et suffisant pour le repérage¹⁸⁹. Une fois les données renseignées sur Revit 2017, on passera à l'indication du nord géographique pour permettra une étude efficace de plusieurs paramètres comme l'ensoleillement, les données climatiques et autres attributs propre au lieu. On utilisera une capture d'écran tirée du service gratuit Google Maps pour retrouver le nord du projet et orienter la maquette avec la commande « **Nord géographique** » et faire ainsi, une rotation d'une façon à reprendre le nord indiqué sur la capture d'écran (Figure 28). Ce nord sera repris automatiquement lors de la création du plan de masse (annexe 1).

La deuxième composante du relevé dans la monographie d'architecture se résume dans les différents plans de sol et d'étages. Notre analyse de la *Halle Volta* en concordances avec les principes illustrées dans la monographie d'architecture démontre que l'édifice est classé comme édifice à vaisseaux vu son volume central imposant et la présence d'un niveau dominant avec un entresol secondaire sur une partie réduite. L'auteur du guide affirmait déjà que l'utilisation de l'outil informatique permet de profiter de couches superposées en référence aux calques présents dans les logiciels de DAO et ainsi faciliter la représentation graphique de cette catégorie d'édifice par rapport à la disposition des ouvertures et des décrochements¹⁹⁰.

Ici, le BIM permet de mieux prendre en charge ce point en intégrant la possibilité de changer le graphisme d'un élément en concordance avec l'échelle et le niveau de détails. Certaines solutions logicielles comme Revit et ArchiCAD® offre la possibilité de customiser le plan de coupe et ainsi aboutir à des documents graphiques plus riches.

Sur le logiciel Revit® 2017 la gestion du plan de coupe se fait à travers la commande « **plage de la vue** » présente dans les propriétés du plan d'étage. On peut alors modifier la position du plan de coupe, la profondeur de la vue et les plages supérieures et inférieures (Figure 29). Ces paramètres ont permis de générer le plan d'étage à l'échelle 1/200¹⁹¹ (**annexe 2**). La monographie préconise l'utilisation de plan de détails là où le

¹⁸⁸ Module GPS LG G6 H870S.

¹⁸⁹ Ceci dit, un matériel professionnel doté de GPS, aurait permis de donner l'information beaucoup plus complète et précise.

¹⁹⁰ Pérouse De Montclos (2002)

¹⁹¹ De Montclos recommande le 1/100e pour les édifices à vaisseaux. Cependant, vu le format limité attribué à un mémoire nous avons opté pour une échelle adaptée à un format A3, à savoir le 1/200e.

plan à l'échelle 1/100 ne permet pas d'observer suffisamment d'informations. Sur ce point les solutions BIM permettent de changer la représentation de l'élément en concordance avec l'échelle du dessin et ainsi éviter de redessiner l'ensemble à chaque fois, la maquette étant composée d'objets et non pas de vecteurs ou de points, on peut alors configurer un affichage spécifique à chaque élément en rapport avec l'échelle du document produit.

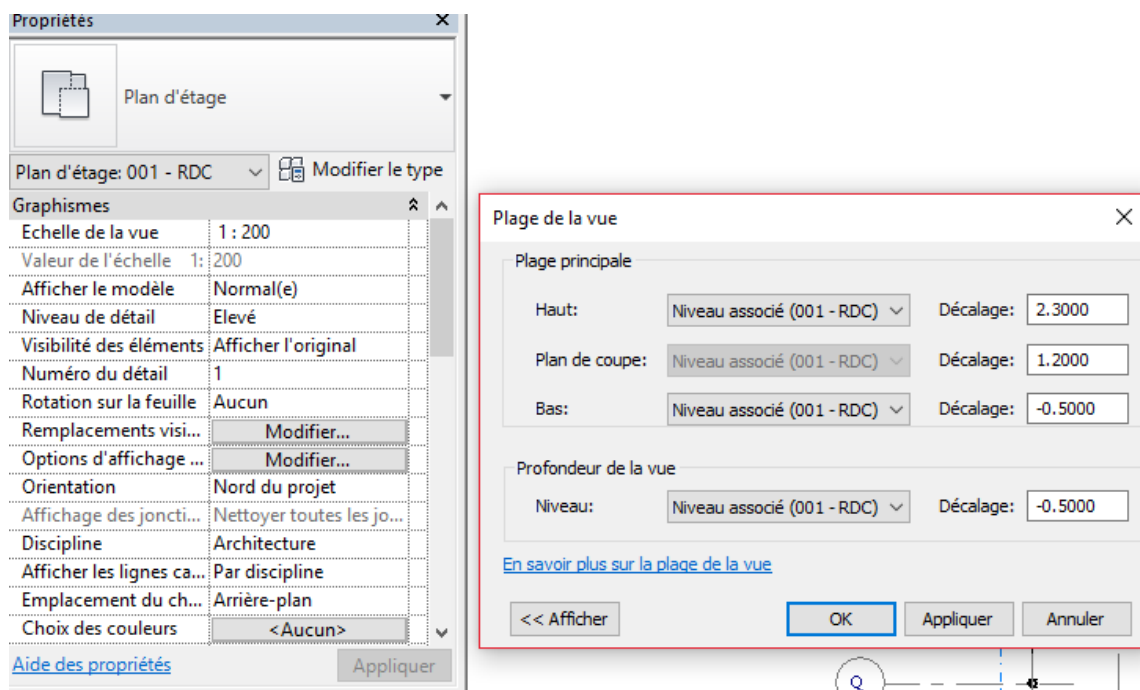


Figure 29: modification du plan de coupe et de la plage de la vue.
Source : Capture d'écran prise par l'auteur.

La quatrième catégorie d'éléments composants le relevé regroupe l'ensemble des élévations extérieures mais aussi intérieures¹⁹², encore une fois le BIM étant basé sur une représentation d'objet et non pas de vecteurs ou de points comme ce fut le cas pour la DAO ou le dessin à la main, permet d'aboutir rapidement aux élévations. En effet, chaque objet dispose d'une représentation 3D paramétrable. Le BIM permet de dépasser le stade de dessins composés des traits, au stade d'éléments de constructions, de fenêtres, de murs et de portes... ce qui implique un gain énorme de temps et d'effort.

On peut profiter des paramètres géographiques intégrées plus haut pour simuler la projection de l'ombre sur la façade dans un laps de temps précis. Cette particularité s'avère être un outil d'étude intéressant de la volumétrie et de la composition de la façade voir de la compréhension de sa symbolique¹⁹³, mais les choses ne se limite pas qu'à cet

¹⁹² Indispensable pour les édifices à vaisseaux afin de décrire le volume et les parois intérieurs importants.

¹⁹³ À l'exemple de la porte de la grande mosquée de Divriği en Turquie, où l'ombre projette une silhouette d'un homme debout lisant un livre.

aspect. Dans une démarche environnementale type Leed ou HQE®, des simulations peuvent être envisagées aussi. En appliquant ces paramètres sur Revit® 2017 on a pu aboutir à une simulation de l'ombre projeté sur la façade le 21 Décembre à 10h (Figure 30), l'ensemble des façades de la Halle à l'échelle 1/200^e (**annexe 3 à 5**).

La cinquième catégorie de documents composants le relevé en monographie d'architecture regroupe les coupes et sections qui peuvent être mieux pris en charge, de la même façon que les élévations par le processus BIM (**annexe 6 & 7**).

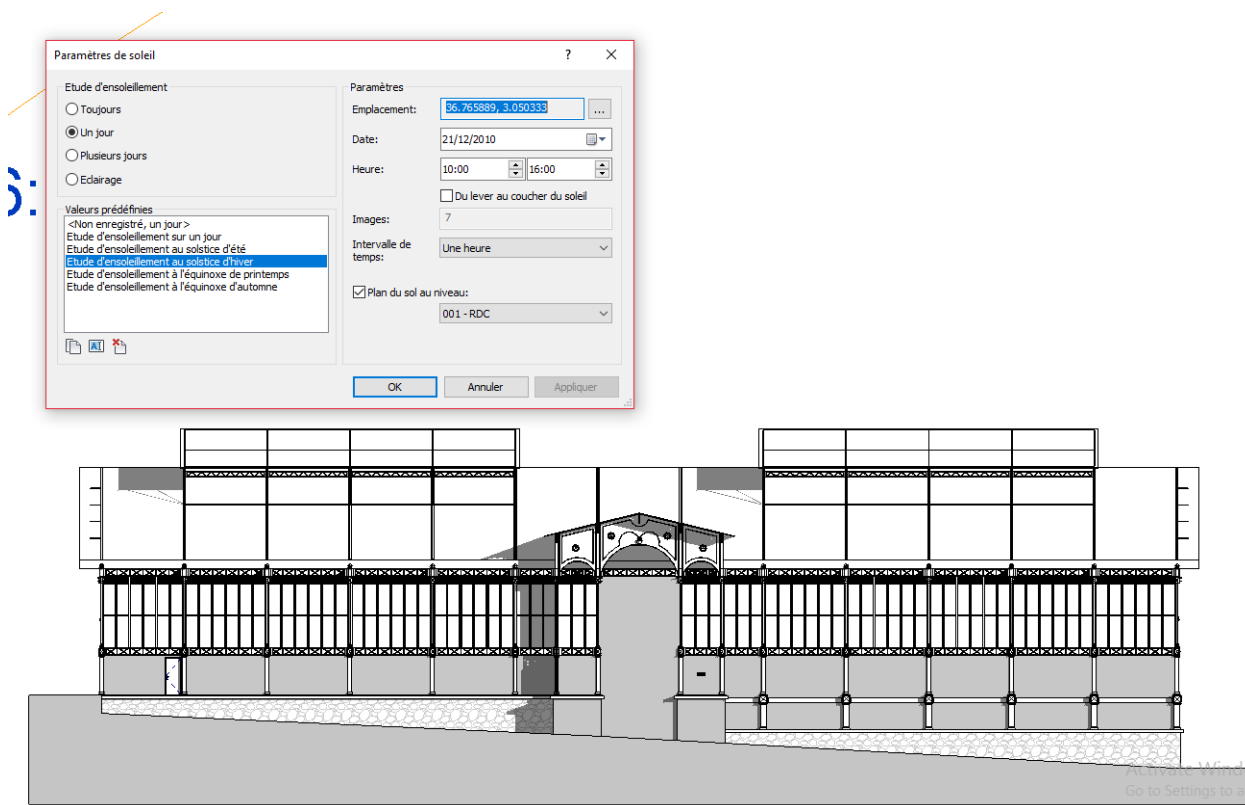


Figure 30: Utilisation des paramètres du soleil pour simuler l'ombre projeté sur la façade au solstice d'hiver.
Source : l'auteur.

Enfin, la dernière catégorie regroupe les éléments de représentations 3D, perspectives et axonométries qui constituent des documents graphiques importants pour la compréhension d'un édifice. C'est sur ce point-là que le BIM retrouve toute sa puissance d'excellence. Ici, on profite de la logique des objets paramétrables et hiérarchisés en catégories composants la maquette pour générer instantanément une représentation graphique tridimensionnelle précise de l'édifice. Pour mieux illustrer ce point, donnant l'exemple d'un mur dessiné avec un logiciel DAO¹⁹⁴. Ce mur va être composé de traits suivant une logique vectorielle. Cette représentation est de nature bidimensionnelle : on

¹⁹⁴ Ou bien dessiné à la main.

peut modifier l'épaisseur des traits, leur couleur, leur opacités... Cependant, un mur dessiné sur une solution BIM présentera des propriétés d'appartenance, de couches le composants, sa nature structurelle ou non structurelle, sa hauteur, sa représentation en Plan, sa représentation en élévation, sa représentation en 3D et surtout sa relation aux autres murs et éléments composants l'édifice (Figure 31). Ceci implique que sur le BIM, on ne dessine pas des traits et courbes, mais on dessine plutôt une simulation des éléments réels de la construction qui compose le bâtiment.

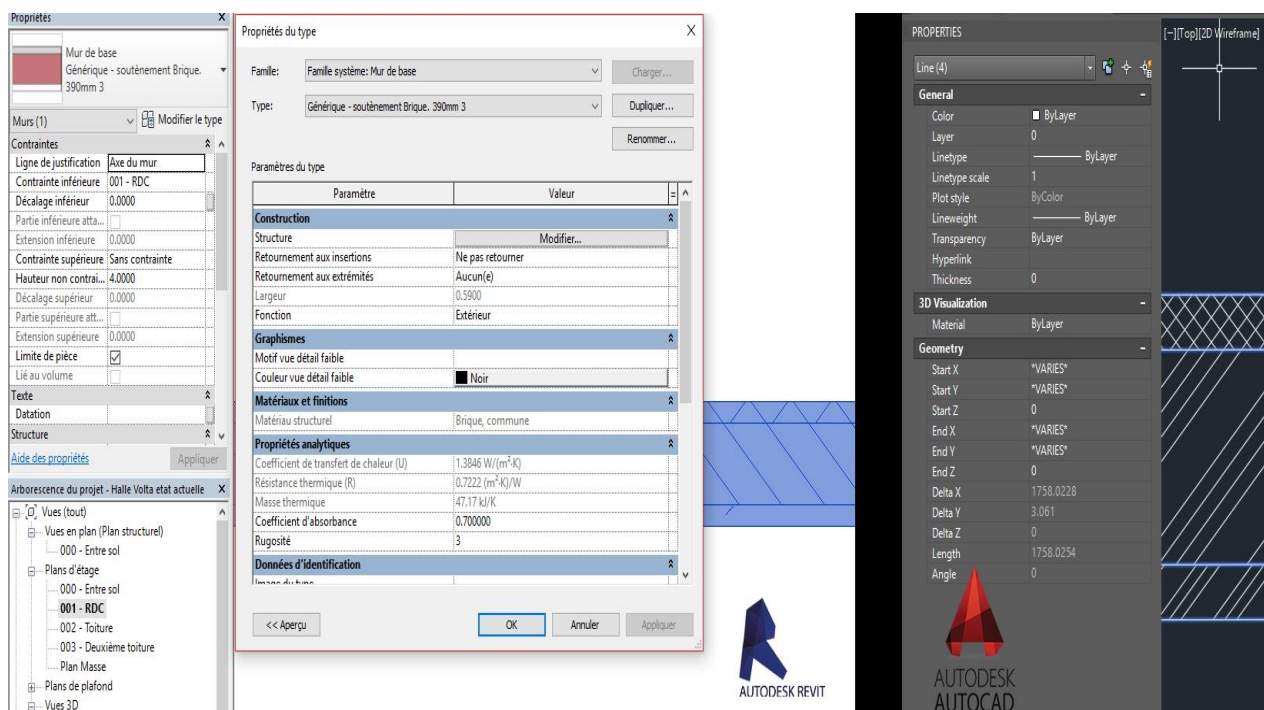


Figure 31: propriétés d'un mur sur Revit®2017 (gauche) et AutoCAD® 2017 (droite)

Source : l'auteur

La représentation tridimensionnelle fait partie intégrante du processus BIM¹⁹⁵. De ce fait, on peut opter pour des solutions d'illustration et d'étude de l'édifice en composant avec les paramètres de position géographique, d'enseillement, et de thermiques ... et ainsi aboutir à des simulations qui facilitent l'intervention sur le bien et sa compréhension dans son contexte. Par rapport à notre travail sur la *halle Volta* on a pu produire des documents axonométriques représentant l'axonométrie de l'édifice (annexe 8), et des assemblages de la structure (annexe 9). On profite de la 3D générée de l'édifice pour créer une visite à l'aide des nouvelles technologies de visites virtuelles qui se démocratisent de plus en plus.

¹⁹⁵ Mais le processus BIM ne se limite pas à une maquette 3D, chose déjà possible sur les solutions DAO.

3. L'apport du BIM à la description en monographie d'architecture :

La monographie de l'architecture est portée essentiellement par la description, De Monclot insiste sur ce point et considère que « *l'interprétation de l'œuvre, ne peuvent être formulées sans décrire. Mais il importe d'établir aussi un constat actuel de l'œuvre : c'est la description proprement dite.* »¹⁹⁶. Ainsi, nous allons nous focaliser dans cette partie du chapitre sur l'apport du BIM à la description en monographie d'architecture.

La description profite d'un ensemble d'outils, le texte et les illustrations graphiques représentent les moyens les plus anciens de sa mise en forme. À cela s'ajoute la photographie et le relevé. Elle traite d'un ensemble de paramètres relatifs à l'édifice de la plus grande échelle, à savoir la situation du projet dans son milieu et son rapport avec ce dernier. Elle traite aussi des attributs relatifs à la composition d'ensemble, aux circulations horizontales verticales, aux distributions, aux matériaux, à la structure, aux élévations.

Cette partie de la méthodologie de la monographie est constituée de corps de textes qui décrivent les différents aspects de l'édifice. Ces textes vont naître de l'observation du bien qui permettront en premier lieu l'identification des similitudes en se limitant aux constats sans interprétations. Des interprétations qui auront lieu dans la dernière étape de la monographie, à savoir la conclusion.

L'avènement de la photographie présente selon l'auteur du guide méthodologique une arme à double tranchant, il considère que « *la photo elle enregistre une apparence* »¹⁹⁷. Ainsi, une utilisation excessive et mal placée de cet outil fera que l'étude de l'édifice se limitera uniquement à la physionomie et ne permettra pas de dégager des constats sur le fond et la nature même des éléments composants l'œuvre, nécessaires à la construction d'hypothèses et primordiales pour aboutir à des conclusions. De ce fait, le BIM devrait être employé avec précaution pour traiter des éléments apparents selon leur juste valeur, mais aussi du fond et surtout des rapports entre les différentes parties qui composent l'ensemble.

La *Halle Volta* est située ainsi sur un milieu naturel composé d'une topographie accidentée qui a permis d'intégrer un entre sol à la bâtisse. En effet, la Halle se trouve

¹⁹⁶ Pérouse De Montclos (2002: 24)

¹⁹⁷ Pérouse De Montclos (2002)

bordée sur sa façade est par un escalier assurant le passage entre la rue Ampère et la rue Volta dans sa partie supérieure. On constate l'absence de végétation dans un milieu urbain relativement dense, l'édifice est en effet entouré par des immeubles de rapport sur 3 façades. Du côté sud on retrouve un allègement d'immeuble composé d'un rez-de-chaussée et trois étages. La façade de la halle fait face à un immeuble de rapport composé d'un rez-de-chaussée et quatre étages, tandis que du côté ouest un immeuble s'étend sur 9 étages. Enfin, du côté nord on retrouve la rue Volta qui donne sur une place publique fortement minéralisée séparant l'édifice de l'école primaire l'Émir Khaled. Cette partie de la ville a été probablement édifée durant la fin du XIXe siècle et début du XXe¹⁹⁸.

Malgré sa proximité de la rue Didouche Mourad (ex rue Michelet)¹⁹⁹ avec son activité commerciale et son flux piéton, la Halle se retrouve d'un tissu caractérisé par l'absence d'activité particulière et une dominance du résidentiel, avec un flux piéton et mécanique très faible. Durant nos visites on a pu constater que la place publique juxtaposée à la Halle est souvent vide et ne profite qu'occasionnellement aux élèves sortants de l'établissement scolaire à proximité. Le milieu économique est ainsi peu développé. Quant au milieu social on ne dispose pas de données suffisamment ciblées sur les habitants du quartier pour juger de ses caractéristiques. On constate cependant la dégradation importante des immeubles et une absence du sens de l'appropriation de l'espace public par les habitants.

Le BIM rentre ainsi en jeu comme atout intéressant dans le cadre de la description de la situation de l'édifice et ses relations réciproques avec son milieu. En effet, il permet de générer des documents graphiques à l'exemple des plans de masse, de profils et façades urbaines. Il permet d'avoir un contrôle total sur le niveau de détail et offre une excellente aptitude à produire ces éléments d'une façon efficace et rapide (voir l'ensemble des annexes). Il permet aussi d'étudier le rapport de l'édifice avec son environnement à travers des simulations. Nous avons pu réaliser une simulation de l'ombre que projette les bâtiments sur la *Halle Volta* pour mieux comprendre les paramètres d'éclairage et déduire les situations favorables et défavorables en vue d'une intervention future sur ce bien (Figure 32).

¹⁹⁸ Du Boistesselin (2016)

¹⁹⁹ Séparée de cette rue uniquement par un îlot composé d'immeubles de rapport, et desservis par deux pénétrantes perpendiculaires à la Halle disposant d'escaliers urbains.

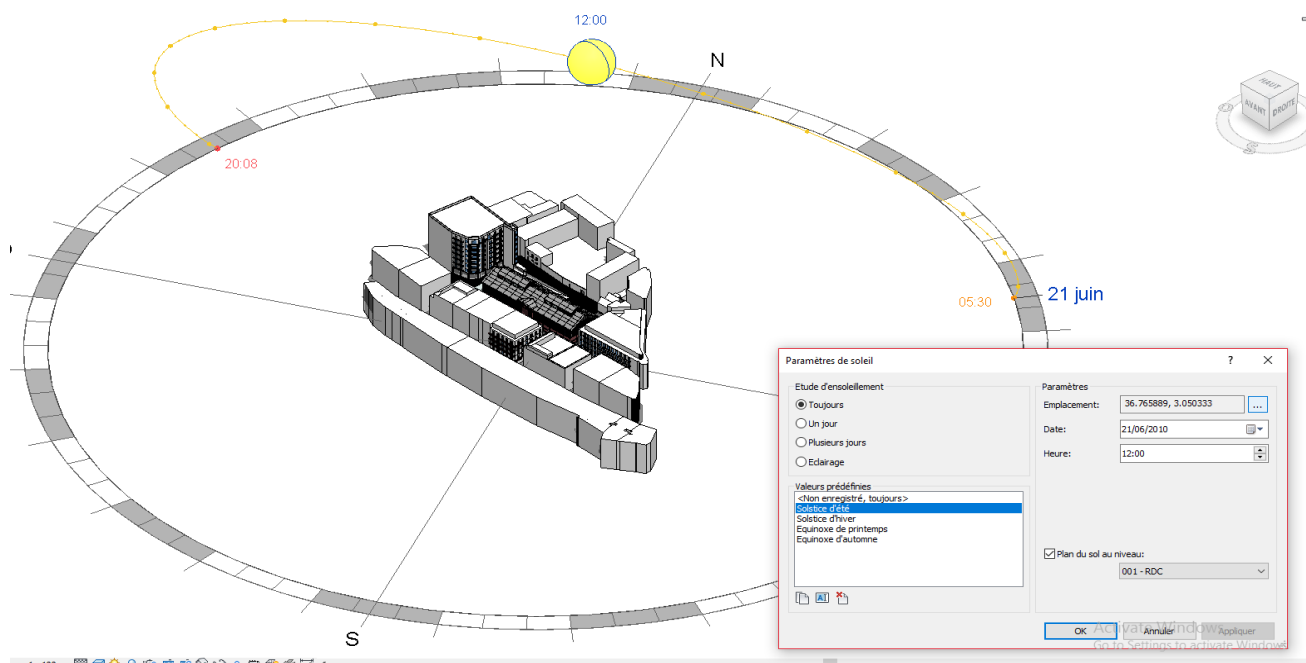


Figure 32: Réglage des paramètres du soleil sur Revit 2017 pour étudier l'ombre portée sur la Halle
Source : l'auteur.

Pour modéliser l'environnement de la halle, nous avons opté pour l'utilisation du processus BIM Hybride²⁰⁰, en modélisant l'environnement sur Trimble Sketchup²⁰¹ puis en créant un composant in-situ du type « **volume** » sur revit 2017 et en important la 3D sous format DWG. le passage par la création du composant in-situ avant d'importer l'environnement permet d'attribuer des paramètres de base à la géométrie importée²⁰². L'étape suivante consiste en le positionnement de l'environnement importé dans la maquette grâce à un point de repère modélisé sur Sketchup. Pour ainsi permettre l'étude de l'édifice dans son environnement et la création de l'ensemble des documents graphiques nécessaires.

La description en monographie d'architecture repose sur un autre pilier qui consiste en la compréhension de la composition d'ensemble, ceci se traduit par la représentation des corps de bâtiments, des accès et des clôtures. La *Halle Volta* se compose ainsi d'un seul volume monolithique allongé présentant une couverture en pente et un semblant de transept qui abrite un porche monumental et découpe la façade sud en deux parties égales. Une extension anarchique qui semble être récente regroupe une clôture sur la façade est et un volume parallélépipédique qui habite la loge du gardien.

²⁰⁰ Un choix qui permet un gain de temps important en modélisant l'environnement en tant que volume sur un logiciel de modélisation 3D comme Sketchup, et ainsi gagner en temps et en taille de fichier de la maquette finale.

²⁰¹ Trimble (2018)

²⁰² Contrairement à une géométrie importée directement à partir d'un fichier type DWG.

La description en monographie d'architecture traite aussi des matériaux qui composent l'édifice, elle permet de définir sa nature, sa taille, son origine, son état et le procédé de sa mise en place en concordance avec la méthodologie de la monographie d'architecture. Le BIM permet ici de mieux répertorier et gérer ces informations pour assurer ensuite une meilleure visualisation de ces paramètres importants. Nous avons appliqué cette méthodologie pour étudier la mise en œuvre des murs composants la façade sud de la *Halle volta*, à travers une visite sur site on a pu récolter les informations suivantes sur ces murs : Matériaux, état, origine, mise en œuvre et les dimensions des éléments composants le mur. Ces informations ont été ensuite renseignées sur la maquette.

Pour introduire ces informations sur la maquette BIM, la première étape consiste en la création des paramètres de projet respectives des informations à introduire comme expliqué dans la partie qui traite de l'ajout du paramètre de la datation plus haut. Ensuite après avoir introduit l'ensemble de ces informations à chaque mur modélisé sur la maquette on a appliqué un filtre d'affichage à travers la commande remplacement de visibilité présente dans les propriétés de la vue 3D. On a pu ainsi représenter le type de mise en œuvre des murs composants la façade avec deux couleurs, le rouge pour les murs en appareillage de pierre de terre cuite avec mortier de ciment, et en bleu les murs dont le système d'appareillage n'est pas connu et nécessite un décapage pour mieux les étudier comme illustre la (Figure 33).

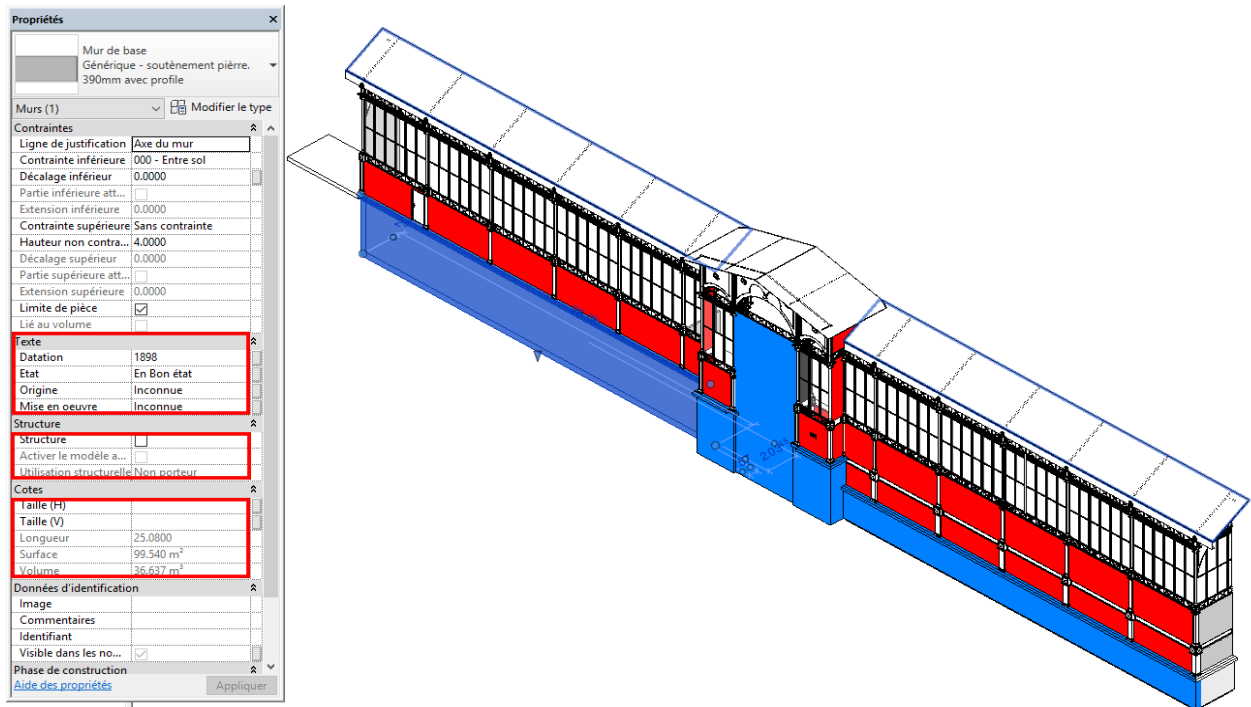


Figure 33: Représentation des différents modes d'appareillage des murs composant une façade la Halle Volta.
Source : l'auteur.

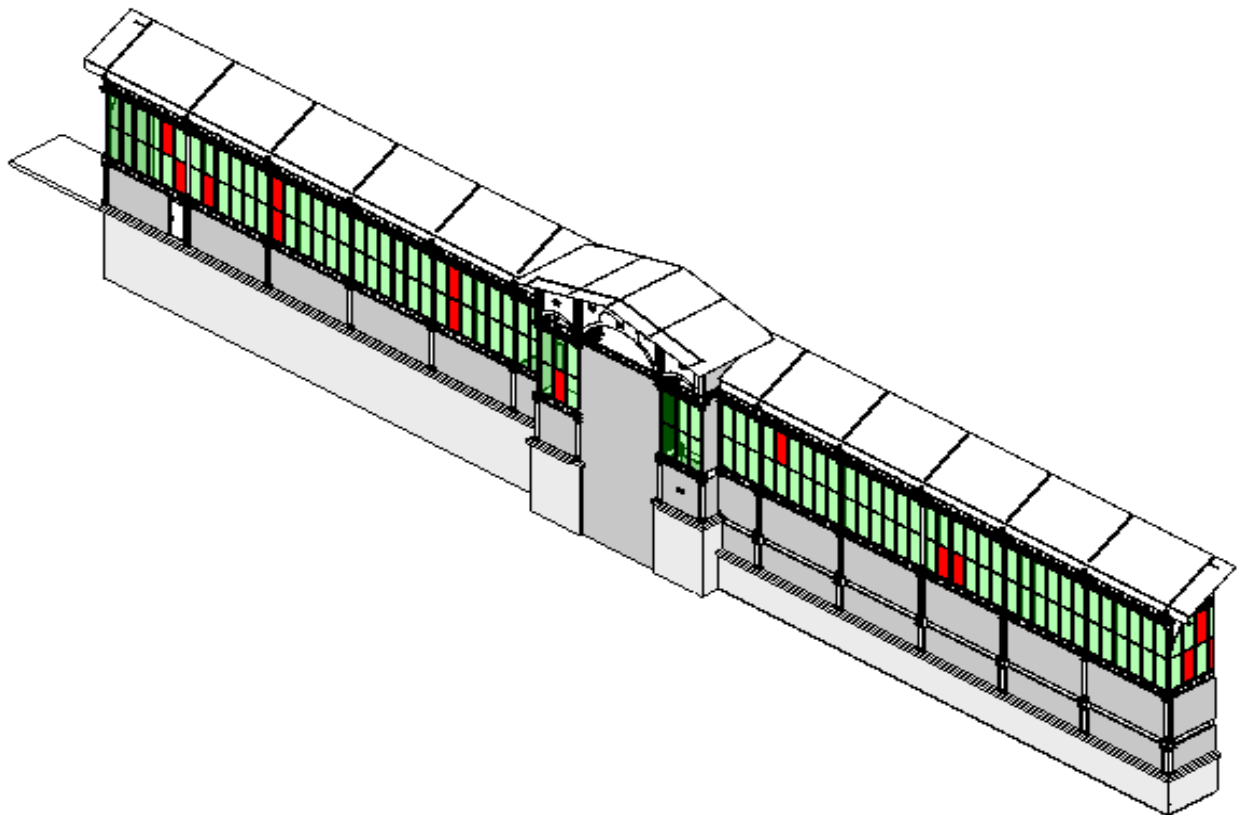


Figure 34: Représentation de l'état des vitres composant la partie haute de la façade sud de la Halle Volta.
Source : l'auteur.

On utilisera les mêmes possibilités offertes par ces solutions BIM pour repérer les dommages qui touche l'édifice et étudier leurs causes et leurs impacts. Nous allons appliquer cette démarche sur le vitrage composant la partie haute de la façade sud de la

Halle. Ceci implique la création d'un paramètre de projet nommé « *état* », ce paramètre sera renseigné à partir des photos prise lors de la visite de l'édifice sur l'état de chaque vitre et permettra de créer un filtre d'affichage dans une vue 3D de cette partie de l'édifice. L'illustration ci-dessous représente le résultat en rouge les vitres cassées et en vert les vitres intactes (Figure 34).

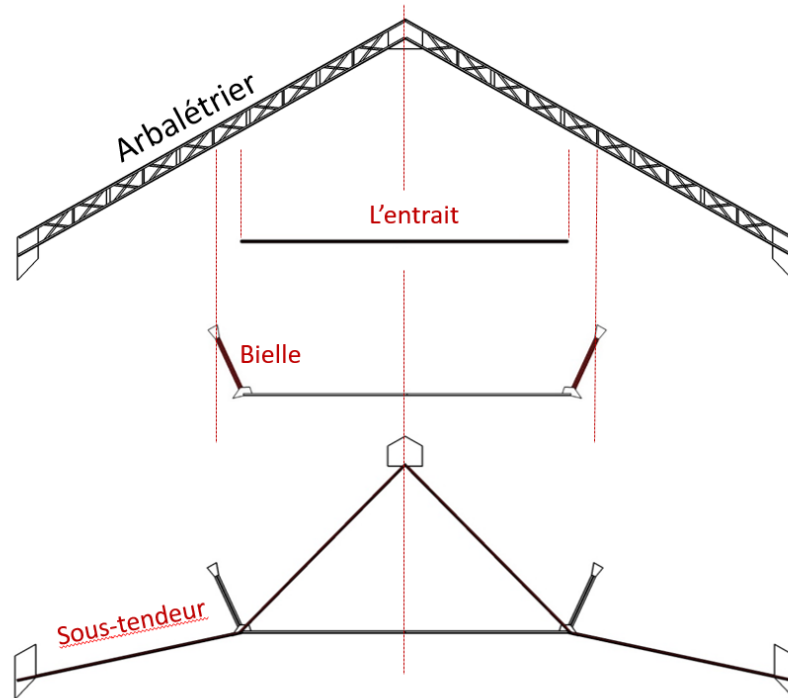


Figure 35: Composition de la ferme Polonceau supportant la couverture de la Halle Volta.
Source :L'auteur.

On peut imaginer dans le cadre d'un projet de gestion d'un bien classé l'utilisation de capteurs et solutions de reconnaissance basées sur la vidéo surveillance ou la prise de photo à intervalles pour repérer sur une période de temps les dégradations que connaît l'édifice et les signaler automatiquement au logiciel de gestion de la maquette BIM. Nos recherches sur le sujet n'ont pas permis de retrouver une solution similaire. Ceci indique le potentiel que présente le BIM pour la gestion du patrimoine. En effet, une adoption plus large du BIM permettra de développer un marché de nouveaux dispositifs d'automatisation et d'intelligence artificielle conjugués à la maquette numérique.

La description en monographie d'architecture repose aussi sur la compréhension de la composition d'ensemble. Ceci se traduit par la représentation des corps de bâtiments, des accès et des clôtures. La *Halle Volta* se compose ainsi d'un seul volume monolithique allongé présentant une couverture en pente et un semblant de transept qui

abrite un porche monumental qui découpe la façade sud en deux parties égales. Une extension anarchique qui semble être récente regroupe une clôture sur la façade est et un volume parallélépipédique qui regroupe la loge du gardien.

Cette partie de la monographie traite aussi de la structure portante. La *Halle volta* repose sur un squelette composé de colonnes en fonte fragmentée en modules qui présentent des articulations variables selon la position de l'élément dans la structure, ces articulations sont plaquées de décorations végétales stylisées. La couverture est supportée par une ferme Polonceau²⁰³ (Figure 35) composée elle-même d'un entrain, de bielle et de sous-tendues. Ceci permet à la halle de disposer d'un vaste espace central grâce à une portée importante. Ces mêmes éléments sont disposés en modules répétés tout au long de l'édifice. Le BIM nous a permis dans ce cas de modéliser rapidement la structure vu sa nature modulable répétitive et d'aboutir ainsi à une documentation suffisamment détaillée (annexe 9).

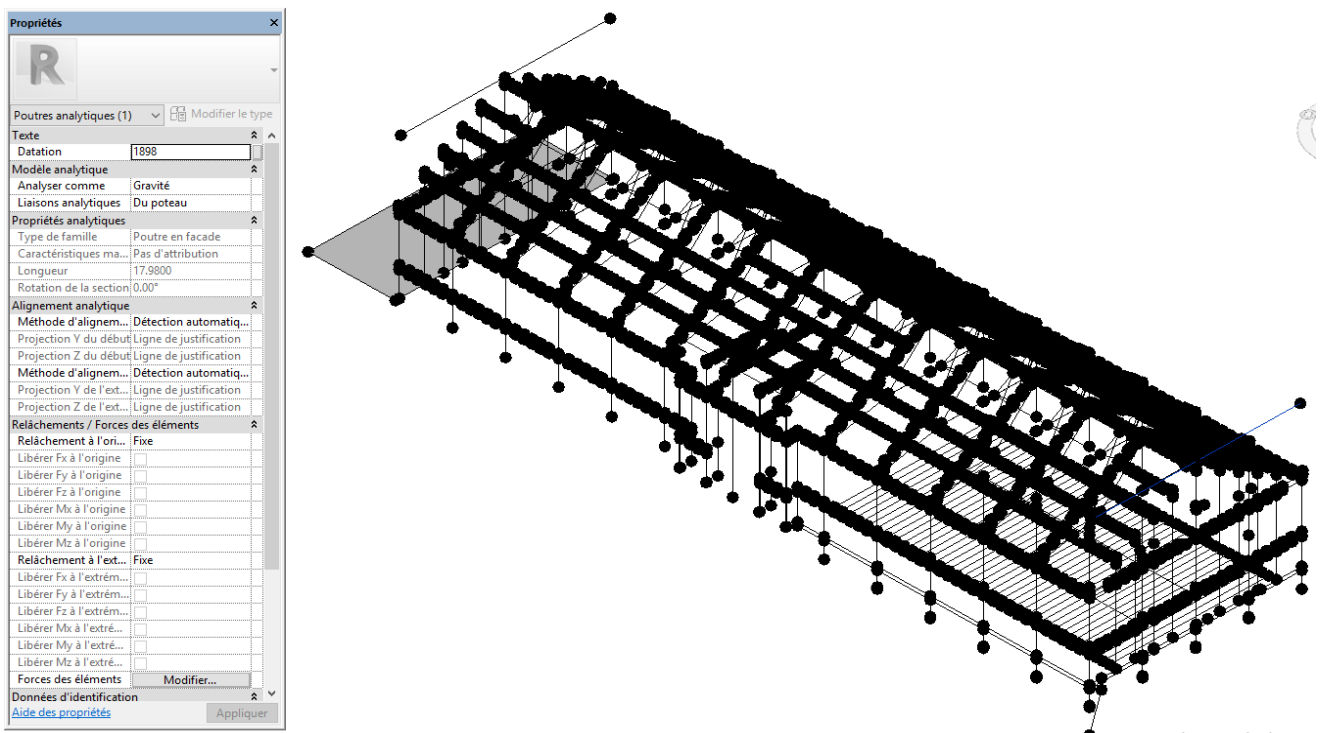


Figure 36: Représentation du modèle analytique de la structure de la halle Volta généré par Revit 2017.
Source : l'auteur.

²⁰³ Inventé en 1837 par Camille Polonceau, ingénieur en chef de la compagnie des chemins de France, plus fines et plus légère en plus de sa production en série ce système annonce le début de l'architecture métallique. Juhel (2015)

Le BIM offre la possibilité de réaliser des simulations du comportement de la structure portante de l'édifice basée sur des modèles analytiques²⁰⁴. Pour cela, il suffit de modéliser avec précision les éléments composants le système portant de l'édifice et indiquer le rôle de chaque élément (Figure 36). Une étude plus poussée des caractéristiques de ce système peut être effectuée sur des solutions logicielles plus avancées à l'exemple d'Autodesk Robot Structural Analysis®²⁰⁵. Dans ce cas de figure le processus BIM permet de capitaliser la maquette de l'édifice et l'exporter directement sur le logiciel de simulation structurelle.

L'étape suivante dans la description de l'édifice se résume à l'étude des élévations, en commençant par les élévations intérieures puis extérieures comme préconise la méthodologie de la monographie d'architecture²⁰⁶. Ceci se traduit par l'analyse de la composition de la façade sud de la Halle, qui est devisée en trois parties. Un socle composé d'un soubassement en murs porteurs en pierre de taille, puis un corps en murs de briques de terre cuite et de vitrage couvert par un couronnement matérialisé par les fermes en Polonceau qui supportent la toiture en pente. On constate la présence d'un axe de symétrie devisant la façade en deux parties égales, sauf le soubassement qui rattrape la pente du terrain (**annexe 10**).

²⁰⁴ Modèle mathématique ayant une solution fermée. La solution de l'équation qui sert à décrire les changements des systèmes peuvent être exprimés en tant que des fonctions analytiques mathématiques. Starting point, Carleton College (2016)

²⁰⁵ Logiciel utilisant des outils BIM avancés il permet d'analyser des structures analytiques avancées et de tester les effets des charges en vérifiant le respect des codes en vigueur. Autodesk (2018c)

²⁰⁶ Nous allons étudier les élévations intérieures vue la nature de notre édifice à vaisseaux.

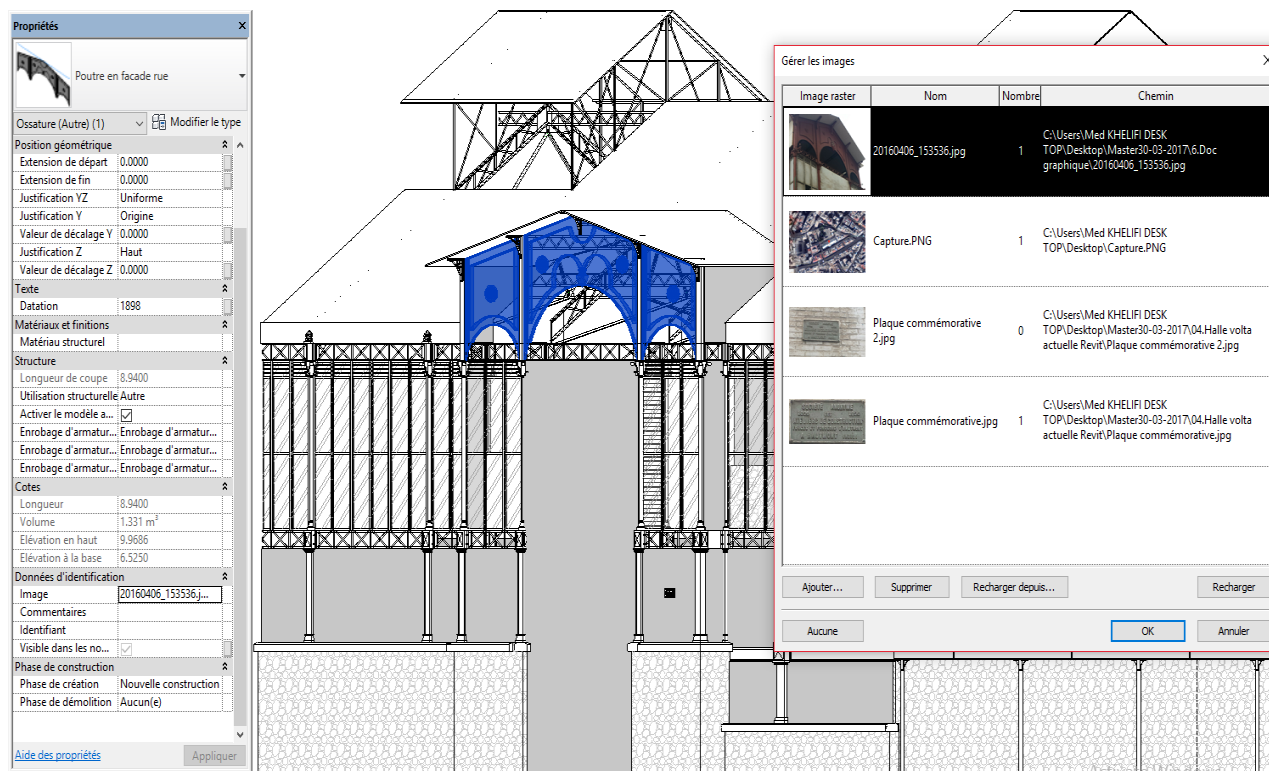


Figure 37: Intégration de photos à un élément de la maquette numérique sur Revit 2017.

Source : l'auteur.

La présence d'un rythme instauré par la répétitions d'un module tout au long de la façade est perturbé par un volume central marquant le proche d'entrée, qui matérialise l'axe de symétrie de l'édifice. Ici, le BIM permet de générer l'ensemble des documents graphiques nécessaires à l'étude des élévations de l'édifice (annexe 10). Il permet en même temps d'enrichir la maquette en intégrant des photographies. Ainsi, on peut localiser l'ensemble des décorations, inscriptions et modénatures sur les objets qui les représentent sur la maquette numérique et permettre dans certains cas une modélisation plus précise de ces éléments dans le futur et en même temps sauvegarder un fond documentaire intégré en cas de destruction de ces éléments, (Figure 37).

Par rapport à la description de la couverture de la *Halle Volta*, celle-ci présente un toit à double pente couvert de tôle récemment rénové²⁰⁷. La toiture est supportée par des ferme Polonceau. De Monclot insiste sur le rapprochement des charpentes métalliques dans la mesure du possible d'un modèle industrielle existant²⁰⁸. Nous avons profité de la maquette pour générer une axonométrie éclatée de la toiture et des éléments qui la compose (**annexe 11**).

²⁰⁷ Par le nouveau propriétaire Civital, on ne dispose malheureusement pas de datation précise de l'opération.

²⁰⁸ Pérouse De Montclos (2002: 36)

Par rapport à la distribution de la *Halle Volta*, on constate la présence d'un espace centrale unique séparé par un muret au milieu qui délimite les deux actuels propriétaires. Cet espace mesure 59.20 x 18.30m², soit surface totale de 1083 m² (**annexe 2**). Un étage en entresol secondaire est présent sur la moitié est de la Halle appartenant à Sonelgaz. Cette partie ne dispose pas d'accès actuellement du fait de la destruction de l'escalier et du plancher qui la couvre. Ici, on ne manque pas de noter que la fission de cet escalier est un signal fort sur la nécessité de prendre des mesures rapides pour sauvegarder ce bien et capitaliser ses atouts. On ne dispose malheureusement pas actuellement d'informations sur la nature de cet escalier détruit, ce qui nous empêche d'entamer la dernière partie de la monographie qui traite de ces éléments de circulations.

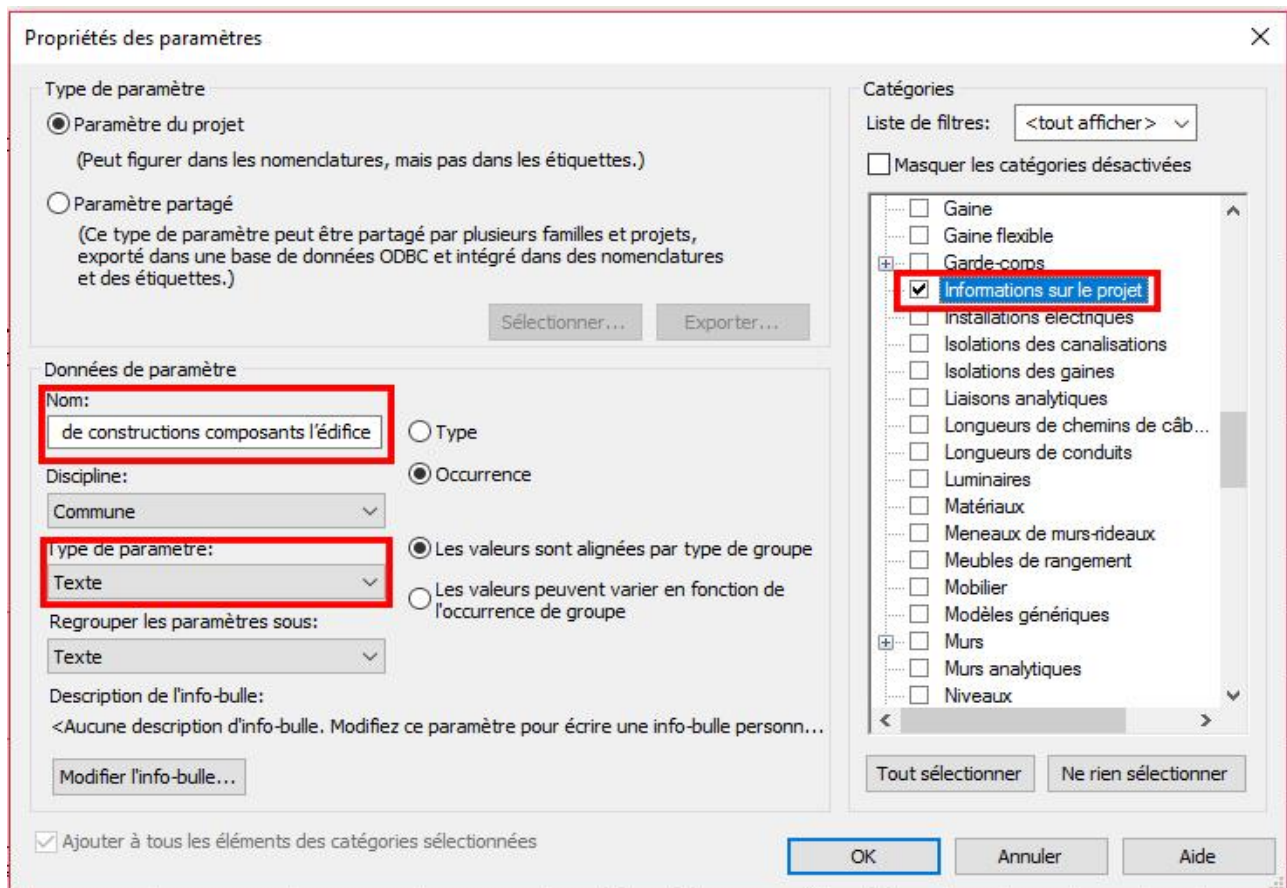


Figure 38: Mise en place des paramètres de projet appropriés à la description sur Revit 2017.

Source : l'auteur.

Enfin, dans la continuité des recommandations de De Montclos en ce qui concerne l'importance du texte dans la monographie d'architecture, nous allons capitaliser l'ensemble de ces textes descriptifs de l'édifice en les intégrant à la maquette numérique. Ces textes peuvent être ainsi partagés dans un fichier centralisé à travers le BIM. Pour intégrer l'ensemble de ces corps de textes nous allons commencer par créer les

paramètres de projets (Figure 38) suivants dans l'onglette « *gérer* » : Description de la situation de l'édifice, description de la composition d'ensemble de l'édifice, description des matériaux de constructions composants l'édifice, description de la structure de l'édifice, description des élévations de l'édifice, description de la couverture de l'édifice, description de la distribution de l'édifice et enfin description des escaliers de l'édifice.

Informations sur le projet

Famille: Famille système: Informations sur le projet [Charger...]

Type: [Modifier le type...]

Paramètres d'occurrence - Contrôlent l'occurrence sélectionnée ou à créer

Paramètre	Valeur
Texte	
Maitre d'oeuvre	Inconnu
Début des travaux	1898
Fin des travaux	Inconnu
Maitre d'ouvrage	DALAISE Adolphe
Entrepreneur	Forge et fonderie d'Hautmont Nord
Artisans	Inconnus
Date de création de la maquette	12/12/2016
Reference de mise à jour de la maquette	Ref:01
Chargés d'étude et mise en point de la maquette	Khelifi Mohamed Zakaria
HLOD	200
Datation	1898
Description de la situation de l'édifice	La Halle Volta est située ainsi sur un milieu naturelle c
Description de la composition d'ensemble de l'édi	La Halle Volta se compose ainsi d'un seul volume mo
Description des matériaux de constructions comp	Fonte, Acier, Brique de terre cuite, Pierre de taille, Ver
Description de la structure de l'édifice	La Halle volta repose sur un squelette composé de co
Description des élévations de l'édifice	La composition de la façade sud de la Halle, qui est d
Description de la couverture de l'édifice	Par rapport à la description de la couverture de la Hal
Description de la distribution de l'édifice	Par rapport à la distribution de la Halle Volta, on cons
Description des escaliers de l'édifice	Détruits
Données d'identification	
Nom de l'organisation	/
Description de l'organisation	/
Nom du bâtiment	Halle Volta
Auteur	Khelifi Mohamed Zakaria

Figure 39: Fiche d'informations du projet comportant les textes descriptifs de l'édifice sur le logiciel Revit 2017.

Source : l'auteur.

Ces paramètres seront du type textes et vont être intégrés à la catégorie information sur le projet. L'étape suivante consiste à renseigner l'ensemble de ces informations à travers les textes descriptifs rédigés selon les méthodes préconisées par la monographie d'architecture (Figure 39). Ces informations serviront aux prochaines mises à jour de la maquette de l'édifice et permettrons d'automatiser certains processus

à l'exemple de la mise en page des documents graphiques exportés. En effet, on peut automatiquement renseigner les champs d'informations composant les cartouches des annexes de ce mémoire à titre d'exemple.

Nous allons conclure ce sous chapitre par une citation de De Montclos : « *le contenu de la description d'un édifice étant théoriquement défini, il faut maintenant choisir les moyens les mieux appropriés aux fins recherchées. L'importance quantitative de l'illustration et l'importance qualitative des moyens techniques mis en œuvre pour la réaliser doivent aussi être adaptées...* »²⁰⁹. En effet, l'utilisation du BIM comme processus de gestion du patrimoine implique la prise de positions par rapport à un ensemble de paramètres, du niveau de développement de la maquette, au choix des modes de représentations et de partage de l'information. Le BIM s'avère être sur ce plan un outil flexible qui vise en premier lieu à économiser en temps et en moyens.

4. Le BIM comme outil de synthèse en monographie d'architecture :

À travers ce dernier sous chapitre nous allons discuter de l'intérêt de l'utilisation du BIM comme outil de synthèse dans la monographie d'architecture et par extension d'autres méthodologies appliquées à la gestion du patrimoine. Cette partie de la monographie d'architecture représente une synthèse critique qui permet de mettre l'édifice dans son contexte historique et architectural. Ici, le croisement d'une synthèse de la description générale et de l'historique sert à des tentatives de datations des parties de l'édifice. Il permet aussi d'opérer des essais de restitutions des états antérieurs des œuvres étudiées pour comprendre leur évolution à travers le temps et déduire leurs places dans l'évolution générale de l'architecture²¹⁰.

L'auteur du guide sur la monographie d'architecture affirme que l'utilisation de représentations 2D ou 3D basées sur les outils traditionnels ou informatiques peut être justifiée dans le cadre de théories émises sur l'état antérieur des édifices étudiés. Cependant, il faut s'assurer d'une fondation solide pour ces théories qui permettent d'aboutir à des restitutions réalistes et proches de ce que fut un jour l'édifice en question, loin de la mystification et de la surenchère et avec un esprit scientifique critique et pragmatique.

²⁰⁹ Pérouse De Montclos (2002: 44)

²¹⁰ Pérouse De Montclos (2002)

Ainsi, la *Halle Volta* datant de la fin du XIXe siècle représente un édifice emblématique de l'architecture dite industrielle d'Alger. Le passage de plusieurs propriétaires et l'échec des activités commerciales successives ont conduit à des altérations survenues sur l'édifice. Sa transformation en dépôt a négativement empesé le tissu urbain l'entourant. Toutefois l'absence d'activités sur des périodes prolongés a fait que l'œuvre conserve aujourd'hui la majorité de ses attributs et son cachet originel, ce qui en fait un édifice relativement homogène sur le plan de la datation des éléments qui le composent.

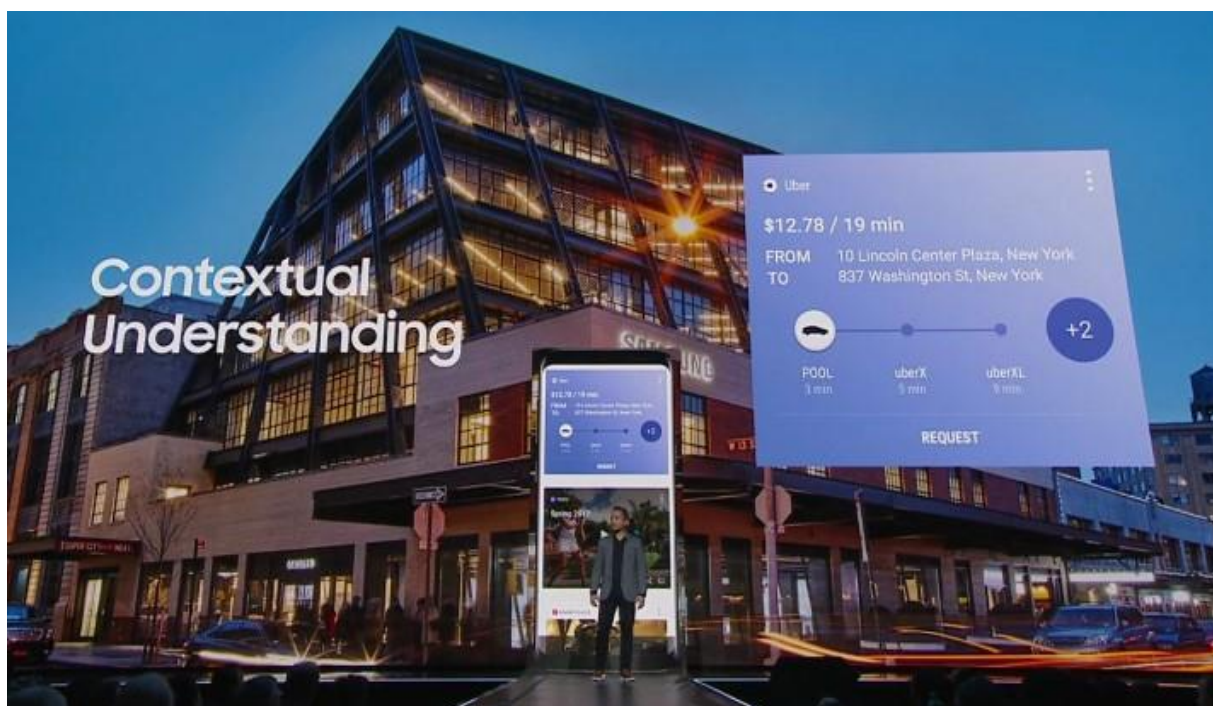


Figure 40: Le moteur de recherche basé sur l'intelligence artificielle Bixby de Samsung
Ce moteur permet aux smartphone de reconnaître des édifices).

Source : (Shreyas, 2017)

L'édifice étant relativement récent, n'ayant connu aucune intervention majeure, on ne peut qu'affirmer que l'intégralité de ses parties datent de 1898 à l'exception du volume à l'entrée ouest qui sert de loge de gardien qui malheureusement n'a pas pu être daté ni à travers les recherches menées antérieurement, ni à travers notre recherche. Malgré cela avec ce qu'on a, on peut facilement réaliser une restitution de l'état originel de l'édifice grâce aux solutions BIM et aboutir à des simulations 3D détaillées de l'œuvre dans état d'origine comme le démontre l'ensemble des documents graphiques en annexe. Ces simulations peuvent être ensuite intégrées dans une base de données qui servira à des systèmes d'intelligence artificielle à l'exemple du moteur de recherche Google Image²¹¹,

²¹¹ Moteur de recherche d'images le plus complet sur le web. Google (2018)

ou Samsung Bixby²¹² (Figure 40) pour interpréter et déterminer des relations architecturales et stylistiques avec d'autres édifices, ou bien permettre de repérer les similitudes d'une façon automatisée.

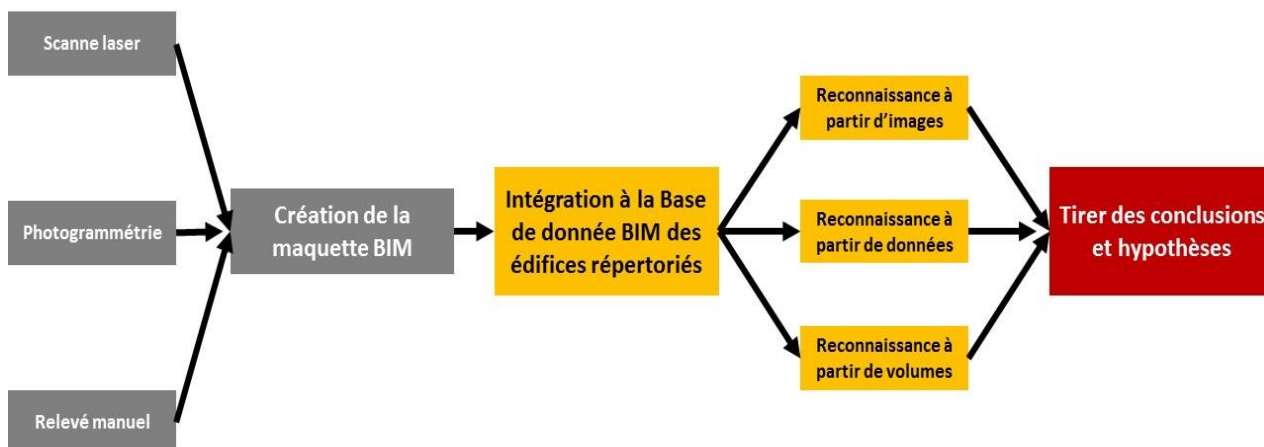


Figure 41: Schéma de principe de solutions d'analyse d'édifice basées sur le BIM et l'intelligence artificielle.
Source : l'auteur.

L'utilisation de l'intelligence artificielle facilitera ainsi le travail des recherches dans le cadre de l'inscription des édifices dans l'évolution générale de l'architecture. Ces solutions peuvent s'inspirer des systèmes de reconnaissances faciales²¹³ et ainsi profiter des informations générées par le BIM et la hiérarchisation de ces informations en bases de données cohérentes dans le dessein d'identifier chaque édifice et accélérer la recherche dans le domaine du patrimoine bâtis (Figure 41).

²¹² Bixby est un assistant personnel intelligent qui renouvelle totalement la manière dont vous interagissez avec votre smartphone. Samsung (2017)

²¹³ Comme toute technologie biométrique la reconnaissance faciale mesure et retrouve des caractéristiques uniques pour des soucis d'identification et d'authentification. O'Neill (2014)

Conclusion : résultats, limites et perspectives de la recherche

À travers les trois chapitres précédents, cet humble travail a visé à répondre à un ensemble d'objectifs, et à valider ou rejeter les hypothèses émises dans l'introduction. De ce fait, le premier chapitre nous a permis de comprendre le concept du *Building information modeling* à travers son histoire et ses origines et filiations d'une façon générale afin d'apprécier l'intérêt de ce processus. C'est ainsi que nous avons pu constater l'état d'art aujourd'hui en ce qui concerne son application aux domaines de la construction et aux possibilités futures offertes par cette technologie en constante évolution. Ainsi, on a pu **répondre au premier objectif de ce mémoire qui est de : Comprendre le BIM dans son sens large, l'intérêt de cet outil et les perspectives qu'il offre.**

Nous avons ensuite développé à travers le deuxième chapitre une analyse d'un ensemble d'exemples contemporains d'application du processus BIM au patrimoine bâtis. Ces exemples traitent de cas d'étude situés au *Royaume-Unis* et aux *États-Unis* qui représentent des expérimentations concrètes avec des projets pilotes et des travaux de recherches académiques d'avant-garde. L'étude de ces cas nous a permis d'apprécier la nature expérimentale de ces interventions souvent novatrices, mais aussi de comprendre la méthodologie choisie à chaque fois pour répondre aux enjeux spécifiques du contexte. Ainsi, on a pu **répondre au deuxième objectif de cette recherche en repérant les possibilités offertes par cette technologie.** On a pu aussi constater que **l'application du BIM au patrimoine ne fait que commencer**²¹⁴.

Usage	Fiche historique	Stratification	Datation	Intégration photos
Apports du processus BIM	<ul style="list-style-type: none"> Facilite l'introduction et la mise à jour de la fiche historique. Centralise l'information d'un seul fichier, à savoir la maquette. Peut être utilisé pour générer automatiquement les cartouches et documents relatifs au projet. 	<ul style="list-style-type: none"> Permet une meilleure lecture graphique de la stratification. Apporte plus de précision à la stratification. Permet de faciliter l'étude des rapports entre les différents éléments composants les strates. 	<ul style="list-style-type: none"> Permet une meilleure lecture graphique de la datation des éléments composants l'édifice. Permet de suivre la progression et l'état de ces éléments. Permet de planifier les opérations d'entretien et de créer des alertes aux profit des équipes de gestion. 	<ul style="list-style-type: none"> Permet de localiser les inscriptions et éléments particuliers. Permet de faciliter une mise à jour future de la maquette. Permet de faciliter l'étude de la l'édifice en offrant plusieurs interprétations. Permet de garder une documentation dans un fichier centralisé en cas de destruction de l'élément.

Figure 42: Tableau illustrant les usages et apports possibles du BIM à la première partie de la monographie.

Source : l'auteur.

²¹⁴ Antonopoulou and Bryan (2017)

Le troisième chapitre présente le vif de notre travail. Ici, on a essayé d'intégrer le processus BIM à une méthodologie d'étude du patrimoine largement employé en Algérie et ailleurs, à savoir *la monographie d'architecture*. Après une introduction à la monographie d'architecture, nous avons essayé d'appliquer les possibilités offertes par le BIM aux étapes de cette méthodologie en commençant par l'étude de l'apport du BIM à la recherche historique (Figure 42). Nous avons ainsi repéré quatre usages possibles de ce processus à savoir la création de la fiche historique intégrée à la maquette, la mise en valeur des campagnes d'intervention sur la *Halle Volta*, l'aide à la décision grâce à la datation et l'intégration de la photo à la maquette comme base pour des études futures.

Ensuite, on s'est focalisé sur les usages possibles du BIM dans le cadre du relevé de la monographie d'architecture pour produire l'ensemble des documents graphiques nécessaires à l'étude de la Halle. Pour passer à l'étude des possibilités d'intégration du BIM dans le cadre de la description de l'édifice en appliquant ce processus à l'aspect le plus important de la monographie. Enfin, l'application de cet outil révolutionnaire à la synthèse de cette méthodologie a permis de dégager des pistes basées sur la confluence de plusieurs technologies comme la reconnaissance faciale et l'intelligence artificielle.

L'ensemble de ces processus et techniques appliqués dans le cadre d'une stratégie globale bien établie dans le domaine du patrimoine, sur un cas d'étude concret à savoir la *Halle Volta* nous ont permis de répondre à l'objectif primordiale de ce travail, à savoir : démontrer et définir les possibilités offertes par le BIM en l'appliquant au patrimoine. Et ainsi, confirmer les hypothèses émises au début de la recherche à savoir le fait que le BIM peut devenir un outil de documentation, d'évaluation de gestion et de sauvegarde du patrimoine. Il peut également, offrir plus d'atouts que d'inconvénient et permet ainsi de faciliter la monographie d'architecture. Enfin, l'application de ce processus à la monographie de la *Halle Volta*, permet concrètement de mieux la mettre en valeur et constitue une base pour un éventuel dossier de classement.

Par rapport à la dernière hypothèse, une démonstration basée sur des solutions révolutionnaires qui profiteront du BIM (à savoir la réalité virtuelle et le site internet dédié à la *Halle Volta*) lors de la soutenance permettra de confirmer encore une fois cette hypothèse. En effet, la sensibilisation au patrimoine devrait profiter du foisonnement technologique et du développement rapide de nouvelles solutions pour sauvegarder nos

biens culturels en l'occurrence, les bâtisses qui parsèment les parois de nos villes et par extension une partie importante de notre identité.

Ces technologies nouvelles conjuguées au BIM permettront d'effectuer des simulations numériques d'une multitude d'options et d'étudier leurs impacts pour déterminer les meilleures solutions, réduire les facteurs de risque et d'atteindre un degré d'efficacité important en s'assurant de la mise en place des meilleures solutions sur le terrain pour une marge d'erreur minimale.

Entre autres, on constate la possibilité d'employer plusieurs outils et méthodes durant la phase de relevé qui précède la création de la maquette numérique. Le relevé laser et la photogrammétrie présentent des avantages en en terme de précision et de temps nécessaire, mais nécessitent la mobilisation de moyens importants et génèrent ainsi un coût élevé²¹⁵. Cependant, ces inconvénients pratiques peuvent être rapidement rentabilisés grâce à l'efficacité du processus BIM, le gain de temps engendré et les retards sur chantiers évités avec les simulations de la phase étude.



Figure 43: Schéma résumant le gain de performance des processeurs de 8ème génération d'Intel.
Source : (Intel, 2017)

Une autre notion importante consiste en le « *BIM hybride* » qui permet de contourner certains problèmes typiques des solutions *BIM* actuelles qui ne sont pas suffisamment adaptées au contexte du patrimoine. Cette notion consiste en l'intégration d'éléments générés sur des logiciels de *DAO* classiques (AutoCAD® entre-autres) ou sur la

²¹⁵ Des moyens qui n'étaient pas disponibles durant notre recherche.

base de nuage de points et sert à faciliter la création de la maquette et à réduire le temps nécessaire. Dans certain cas, elle représente un passage obligatoire vu les possibilités limitées que présente le *BIM* actuellement pour la prise en charge de formes géométriques complexes. Cependant, l'évolution rapide que connaissent les logiciels *BIM* et la montée en puissance des ordinateurs, de génération en génération²¹⁶ (Figure 43) feront que le *BIM hybride* restera une solution momentanée.

Enfin, la mise en place de normes, de chartes ou de feuilles de route à l'exemple du système que nous avons imaginé dans un précédent chapitre et que l'on a baptisé « **HLOD** » en référence à la norme LOD déjà existante, est une nécessité pour assurer un développement efficace de l'application du BIM au patrimoine. Son application à une échelle plus large nécessite une coordination, des échanges et un langage concerté qui peut être facilement apprécié par l'ensemble des acteurs et assurera ainsi une meilleure appréciation des qualités de ce processus et contribuera à une évolution rapide et efficace.

Comme toute recherche scientifique, ce travail présente des limites dues à un ensemble de facteurs. La première limite consiste en la précision de la maquette modélisée. En effet, en l'absence d'outils de relevés précis à l'exemple d'un scanner laser, nous avons procédé à un relevé manuel. L'édifice en question présente un nombre important d'éléments qui sont en grande partie inaccessible. Fort-heureusement la documentation graphique communiquée gracieusement par M. Lemdani (relevés dessinés dans le cadre de travaux de confortement entrepris par le groupe Civital) nous a permis d'améliorer la précision de la maquette. Nous avons aussi rencontré des difficultés dans le cadre de notre recherche historiques sur les informations relatives à l'édifice. Face à l'indisponibilité de documents suffisamment fiables sur le maître d'œuvre, les travaux entrepris sur l'édifice particulièrement les raisons qui ont conduit à la destruction de l'escalier reliant l'entresol au niveau principal. Nous nous sommes contentés d'une fiche historique qui regroupe uniquement des informations vérifiées.

Par ailleurs, ce travail pourrait éventuellement constituer un point de départ pour des recherches futures plus poussées dans le cadre d'une thèse de doctorat. On peut citer à titre d'exemple une étude sur la faisabilité d'un processus de reconnaissance semi-automatique des nuages de points relevés sur des éléments architectoniques composants

²¹⁶ On prévoit que Durant cette année, les processeurs de 8^{ème} génération du fabricant Intel seraient plus puissants que ceux de la 7^{ème} génération. Intel (2017)

les façades des immeubles éclectiques du centre colonial de la ville d'Alger. On peut également imaginer un travail d'enquête sur l'efficacité du processus BIM croisé aux outils numériques dans le cadre de campagne de sensibilisations sur l'intérêt de biens classés ciblant aussi bien le grand public que les professionnels du domaine patrimoniale. Ici des outils académiques connus et reconnus tel qu'IBM SPSS, pouvaient trouver tous leurs sens d'usage dans une recherche innovante et inédit en Algérie. L'objectif final serait ainsi de déterminer les facteurs d'optimisation d'une telle démarche, grâce à l'apport de professionnels du métier.

Bibliographie :

I. Articles de journaux & revues :

1. CSTC-Contact, 2017, « Un regard éclairant sur le BIM : Edition spéciale : Le numérique pour tous ! », CSTC-Contact n° 53 [En ligne] 1, consulté le 19 février 2018. URL: http://www.cstc.be/homepage/download.cfm?dtype=bbriccontact&doc=Contact_fr_01_2017.pdf&lang=fr
2. Mitchell, John C., 2003, « Concepts in programming languages », Cambridge university press, p. 14.
3. Don Cameron, Allen, 1960, « The Predecessors of Champollion », *American Philosophical Society* [En ligne] 104, p. 527–547, consulté le 12 janvier 2018. URL: https://www.jstor.org/stable/985236?seq=1#page_scan_tab_contents
4. Murphy, Maurice, Mcgovern, Eugene et Pavia, Sara, 2013, « Historical building information modeling ((HBIM) : adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture », *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* [En ligne] 76, p. 90–102, mis en ligne le 12 février 2014, consulté le 4 novembre 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/241582141_Historic_building_information_modelling_HBIM
5. Naroura, Anis, 2014, « Le point sur... BIM : (Building Information Modeling) », *Le Moniteur* [En ligne] Cahier détaché N°2, mis en ligne le 21 mars 2014, consulté le 29 mars 2017. URL: www.lemoniteur.fr/lemoniteur_numérique

II. Ouvrages :

1. Donato, Vincenzo et Biagini, Carlo, 2014, *Building Object Models" (BOMs) for the documentation of historical building heritage*, Italie.
2. Donato, Vincenzo et Biagini, Carlo, 2016, *Levels of development (LOD) for historic building information modeling (HBIM) : towards building simulation*, Italie.
3. Du Boistesselin, Arnaud, 2016, *Alger : Ville & architecture, 1830-1940*, Arles, Alger, Éditions Honoré Clair; Barzakh.
4. Fensel, Diester *et al.*, 2003, *Spinning the semantic web : bringing the world wide web to its full potential*, États-Unis.
5. Lincoln, H. Forbes et Syed, M. Ahmed, 2010, *Modern Construction : Lean Project Delivery and Integrated Practices*.
6. Malclès, Louise Noëlle et Lhéritier, Andrée, 1976, *Manuel de bibliographie*, Paris, Presses Universitaires de France.
7. Pérouse De Montclos, Jean-Marie, 2002, *La Monographie d'architecture : documents & methodes, n° 10*, France.
8. Renou, Jonathan et Chemise, Stevens, 2015, *Revit pour le BIM : Initiation générale & perfectionnement structure*, Paris, Eyrolles.
9. Riegl, Aloïs et Boulet, Jacques, 2003, *Le culte moderne des monuments : Sa nature, son origine*, Paris, Budapest, Torino, l'Harmattan.
10. Savage, Beth *et al.*, 2010, *Government Policy and Practice: Digital Conservation and Landscape Renewal*, États-Unis.
11. Shurkin, Joel N., 1996, *Engines of the Mind : The Evolution of the computer from mainframes to microprocessors*.
12. Weisberg, David, 2006, *The Engineering Design Revolution : The People, Companies and Computer Systems That Changed Forever the Practice of Engineering*.

IV. Documents internet :

1. Android-benchmark, 2017, *Android Benchmarks Performance Comparison of Android Devices*, consulté le 2 décembre 2017. URL : https://www.androidbenchmark.net/cpumark_chart.html
2. Antonopoulou, Sofia et Bryan, Paul, 2017, *Historic England 2017 BIM for Heritage : Developing a Historic Building Information Model*, consulté le 3 septembre 2017. URL: <https://content.historicengland.org.uk/images-books/publications/bim-for-heritage/heag-154-bim-for-heritage.pdf/>
3. Autodesk, 2016, *Autocad : A propos de la création de maillages 3D*, consulté le 2 décembre 2017. URL: <https://knowledge.autodesk.com/fr/support/autocad/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/FRA/AutoCAD-Core/files/GUID-A6232957-5039-4AB7-8B1D-8FD0AD98F77B-htm.html>
4. Autodesk, 2016, *Building information modeling : Profitez de la valeur ajoutée BIM*, consulté le 4 novembre 2016. URL : <http://www.autodesk.fr/solutions/building-information-modeling/overview>
5. Autodesk, 2017, *Recap : Create accurate 3D models with reality capture*, consulté le 24 novembre 2017. URL : <https://www.autodesk.com/products/recap/overview>
6. Autodesk, 2017, *Revit Families*, consulté le 24 novembre 2017. URL: <http://help.autodesk.com/view/RVT/2017/ENU/?guid=GUID-4E8B97AD-C7B6-4828-91EB-BC0E99B81E43>
7. Autodesk, 2017, *What is CAD software?*, consulté le 30 mars 2017. URL : <http://www.autodesk.com/solutions/cad-software>
8. Autodesk, 2018, *3DS MAX*. URL: <https://autodesk.com/products/3ds-max/overview>
9. Autodesk, 2018, *Revit Families : About Families*, consulté le 12 janvier 2018. URL: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Revit-Model/files/GUID-4E8B97AD-C7B6-4828-91EB-BC0E99B81E43-htm.html>
10. Autodesk, 2018, *Robot Structural Analysis professional : Advanced structural analysis software*, consulté le 3 février 2018. URL: <https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview>
11. BIM Forum, 2013, *Level of Development Specification*, consulté le 31 mars 2017. URL : <http://bimforum.org/wp-content/uploads/2013/08/2013-LOD-Specification.pdf>
12. BIMforum & AIA, 2016, *Level of Development Specification : 2016 Part I*, consulté le 12 août 2017. URL: <http://bimforum.org/lod/>
13. Cabinet Office United Kingdom, 2011, *Government Construction Strategy : May 2011*, consulté le 22 novembre 2017. URL: <http://www.bimtaskgroup.org/wp-content/uploads/2012/03/Government-Construction-Strategy.pdf>
14. Cambridge Dictionary, 2017, *CAD/CAM définition*, consulté le 19 février 2017. URL : <https://dictionary.cambridge.org/fr/dictionnaire/anglais/cad-cam>
15. City of Chicago, 2010, *Inland Steel Building*, consulté le 8 décembre 2017. URL: <http://webapps.cityofchicago.org/landmarksweb/web/landmarkdetails.htm?lanId=1336&count=163>
16. City of Chicago, 2018, *Chicago Landmark service*, consulté le 28 janvier 2018. URL : <http://resources.cityofchicago.org/Landmark/service>
17. COTAC, 2016, *COTAC BUM4C integrating HBIM framework report part 1: Conservation parameters*, consulté le 2 décembre 2017. URL: <http://cotac.global/resources/HBIM-Framework-Part-1-February-2016.pdf>
18. CSTC, *Un regard éclairant sur le BIM*, consulté le 29 mars 2017. URL : <http://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact53&art=795>
19. danielgm.com, *Cloudcompare*, consulté le 2 décembre 2017. URL: <http://www.danielgm.net/cc/>
20. ENERGY STAR, 2017, *About ENERGY STAR*, consulté le 9 décembre 2017. URL :

- <https://www.energystar.gov/about>
21. Est Ensemble Grand Paris, 2012, *QU'EST-CE QU'UNE ZAC ?*, consulté le 6 août 2017. URL : <https://www.est-ensemble.fr/cest-quoi-une-zac>
 22. Farlex Inc., 2014, *Standalone application. (n.d.) : Collins English Dictionary – Complete and Unabridged*, consulté le 12 janvier 2018. URL: <https://www.thefreedictionary.com/Standalone+application>
 23. fileinfo, 2018, *RVT File*, consulté le 27 janvier 2018. URL: <https://fileinfo.com/extension/rvt>
 24. fileinfo, 2018, *What is DWG ?* URL: <https://fileinfo.com/extension/dwg>
 25. GIS Solutions, 2017, *What is GIS - GIS Solutions (Pvt) Ltd*, consulté le 19 janvier 2018. URL : <http://www.gislk.com/about/what-is-gis>
 26. Google, 2018, *Google images*, consulté le 7 février 2018. URL: <https://www.images.google.com>
 27. Green building council, 2017, *LEED is green building*, consulté le 8 décembre 2017. UR : <https://new.usgbc.org/leed>
 28. Historic Scotland, 2015, *Scotland's listed buildings*, consulté le 24 novembre 2017. URL : <https://www.historicenvironment.scot/media/2248/scotlandslistedbuildings.pdf>
 29. HM Government United Kingdom, *Construction 2025 : Industrial Strategy government and industry in partnership*, consulté le 22 novembre 2017. URL: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/210099/bis-13-955-construction-2025-industrial-strategy.pdf
 30. IBM, *Chronological History of IBM 1980s*, consulté le 2 décembre 2017. URL : https://www-03.ibm.com/ibm/history/history/decade_1980.html
 31. IBM, 2003, *History of IBM - 1980 -*, consulté le 19 février 2018. URL : https://www-03.ibm.com/ibm/history/history/decade_1980.html
 32. Intel, 2017, *8th Gen Intel® Core™ Processors*, consulté le 15 novembre 2017. URL : <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/processors/core.html>
 33. Internet Society, 2016, *Que faisons-nous : Pourquoi c'est important*, consulté le 27 décembre 2016. URL: <https://www.internetsociety.org/fr/que-faisons-nous/pourquoi-c%E2%80%99est-important>
 34. Juhel, Françoise, 2015, *Ferme métallique de Polonceau*, consulté le 3 février 2018. URL : http://passerelles.bnf.fr/grand/pas_751.htm
 35. Lavoisy, Olivier, 2016, *IMPRIMERIE À CARACTÈRES MOBILES*, consulté le 27 décembre 2016. URL: <http://www.universalis.fr/encyclopedie/imprimerie-a-caracteres-mobiles/>
 36. Lavoisy, Olivier, 2016, *MACHINE À VAPEUR DE WATT-BOULTON*, consulté le 27 décembre 2016. URL: <http://www.universalis.fr/encyclopedie/machine-a-vapeur-de-watt-boulton/>
 37. Lavoisy, Olivier, 2017, *Internet*, consulté le 17 novembre 2017. URL: <https://www.universalis.fr/encyclopedie/internet-histoire/>
 38. Lavoisy, Olivier, 2017, *Mondialisation : la globalisation économique*, consulté le 17 novembre 2017. URL: <https://www.universalis.fr/encyclopedie/mondialisation-globalisation-financiere/>
 39. Leica Geosystems, *Suite logicielle pour la gestion de nuage de points 3D*, consulté le 24 novembre 2017. URL: <http://leica-geosystems.com/fr-fr/products/laser-scanners/software/leica-cyclone>
 40. Manager GO !, 2017, *Outils d'aide à la décision*, consulté le 9 décembre 2017. URL: <https://www.manager-go.com/gestion-de-projet/aide-a-la-decision.htm>
 41. meshlab, 2017, *meshlab open source*, consulté le 2 décembre 2017. URL : <http://www.meshlab.net/>
 42. Microsoft, 2017, *Access : Optimisez vos données*, consulté le 9 décembre 2017. URL : <https://products.office.com/fr/access>
 43. National Park Service, 2017, *National Register of Historic Places*, consulté le 8 décembre 2017. URL : <https://www.nps.gov/nr/>
 44. O'Neill, Peter (Findbiometrics), 2014, *Facial recognition*, consulté le 7 février 2018. URL : <https://findbiometrics.com/solutions/facial-recognition/>
 45. Pratt, Garry, 2016, *London Underground Ltd.: Bond Street to Baker Street Tunnel Remediation Project*, consulté le 27 décembre 2016. URL: https://www.bentley.com/fr/project-profiles/london-underground_bond-baker-remediation

46. Prive, Tanya, 2012, *What Is Crowdfunding And How Does It Benefit The Economy*, consulté le 6 août 2017. URL: <https://www.forbes.com/sites/tanyaprive/2012/11/27/what-is-crowdfunding-and-how-does-it-benefit-the-economy/#a4fe273be63e>
47. Revue des mondes musulmans et de la Méditerranée, 2014, *Présentation des manuscrits et règles de translittération*, consulté le 11 janvier 2018. URL: <http://journals.openedition.org/remmm/3004>
48. Samsung, 2017, *Bixby*, consulté le 7 février 2018. URL : <https://www.samsung.com/fr/smartphones/galaxy-s8/intelligence/>
49. Shreyas, Gandhe, 2017, *Samsung unveils Bixby, its new digital personal assistant for the Galaxy S8 and S8+*, consulté le 3 février 2018. URL: <https://www.neowin.net/news/samsung-unveils-bixby-its-new-digital-personal-assistant-for-the-galaxy-s8-and-s8>
50. Starting point, Carleton College, 2016, *Analytical models : Geologic Puzzles: Morrison Formation*, consulté le 3 février 2018. URL : <https://serc.carleton.edu/10454>
51. Sutherland, Ivan Edward, 1968, *The Ultimate Display*, consulté le 2 décembre 2017. URL : <http://worrydream.com/refs/Sutherland%20-%20The%20Ultimate%20Display.pdf>
52. Techterms, 2018, *PDF Definition*, consulté le 27 janvier 2018. URL: <https://techterms.com/definition/pdf>
53. Torre, Fabien, 2016, *Cours sur l'Intelligence Artificielle*, consulté le 27 décembre 2016. URL: <http://www.grappa.univ-lille3.fr/~torre/Enseignement/Cours/Intelligence-Artificielle/>
54. Trimble, 2018, *The Sketchup Story*, consulté le 2 février 2018. URL: <https://www.sketchup.com/programs/sketchup-story>
55. U.S. Green Building Council, 2017, *Better buildings are our legacy*, consulté le 17 novembre 2017. URL : <https://new.usgbc.org/leed>
56. United Nations Framework Convention on Climate Change, 2017, *The Paris Agreement*, consulté le 5 août 2017. URL: http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php
57. Vienna university of technology, 2017, *potree home*, consulté le 2 décembre 2017. URL : <http://potree.org/>
58. Waterhouse, Richard, 2016, *National BIM Report 2016*, consulté le 12 janvier 2018. URL : <https://www.thenbs.com/-/media/uk/files/pdf/bim-report-2016.pdf?la=en>

V. Mémoires de master de magister & thèses :

1. Ahmed, Lina Ata-Abuhamra et ENSHASSI, Adnan Ali (dir.), 2015, *An investigation into Building information modeling (BIM) application in architecture, engineering and construction (AEC) industry in Gaza strip*, Islamic University of Gaza. (thèse de doctorat).
2. Ahmed, M. Ahmed, Demain, Peter et Proce, Aandrew, 2012, *Building information modelling implementation plans a comparative analysis*, Université de Loughborough. (thèse de doctorat).
3. Bhargav, Dave et Koskela, Lauri (dir.), 2013, *Developing a construction management system based on lean construction and building information modeling*, Royaume-uni, Université de Salford Royaume-uni. (thèse de doctorat).
4. Kebir, Ahlem et Kessab, Nacer (dir.), 2016, *Construction du XIXem et XXe siècle à Alger. : Cas de la halle volta*, Master, Algérie, Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme. (mémoire de master académique)
5. Sutherland, Ivan Edward et E. SHANNON Claude (dir.), 1963, *Sketchpad a man-machine graphical communication system*, Doctorat, Massachusetts, USA, Massachusetts Institute of Technology: MIT. (thèse de doctorat).
6. Van, Wahenen et West, Haley et Wang, Fon (dir.), 2012, *Building Information Modeling and Historic Buildings : How a Living Model Leads to Beter Stewardship of the Past*, University of Pennsylvania. (mémoire de master académique).

VI. Documents audiovisuel

1. Vervandier, Benoit, 2016, *Le BIM au service du patrimoine – Archimen ingénierie –*.

VII. Lois, arrêtés et textes réglementaires

1. Municipalité d'Alger, Mars 1929, Bulletin municipal officiel de la ville d'Alger (B.M.O.V.A). N° A32-674, Alger.
2. Secrétariat Général du Gouvernement, 1998, (JORADP), Loi n° 98-04 du 15 juin 1998, relative à la protection du patrimoine culturel : 98-04.
3. Secrétariat Général du Gouvernement, 2011, (JORADP), Décret exécutif n° 11-02 du 30 Moharram 1432 correspondant au 5 janvier 2011 portant création de l'agence nationale des secteurs sauvegardés et fixant son organisation et son fonctionnement. : 11-02.

NB :

Citations note de bas de page & Bibliographie gérées et générées automatiquement Avec **Citavi** ©, moteur de référencement édité par **Swiss Academic Software** ©. Le style de citation utilisé est « Revue des mondes musulmans et de la Méditerranée (*REMMM*) » répondant aux normes bibliographiques édictées par la revue *REMMM*», Source : (Revue des mondes musulmans et de la Méditerranée, 2014)