

Modélisation semi-automatique d'une maquette BIM 3D avec l'utilisation d'une station totale

Géocodifications, programmation, techniques instrumentales

Michael Willen

Décembre 2023

Domaine HES-SO Master conjoint UNIGE-HES-SO en développement territorial Orientation Ingénierie Géomatique

Directeur : Bertrand CANNELLE Professeur HES et responsable de l'orientation Ingénierie Géomatique (IG) du Master en Développement Territorial (MDT) Expert : Gildas ALLAZ Ingénieur HES en géomatique MSc et responsable du secteur géomatique de la Chaux-de-Fonds

Mémoire no : 1069





Avant-propos

Le travail de Master (TM) est un module faisant partie du cursus du Master en Développement du territoire (MDT). Son obtention octroie les 30 crédits ECTS permettant de clôturer la formation. Ce TM est élaboré durant deux semestres à temps partiel (6^{ème} et 7^{ème}). Il permet de mettre en pratique et de consolider les compétences en termes de gestion de projet et offre l'opportunité d'approfondir et de renforcer des connaissances dans certains domaines spécifiques liés à la formation.

Ce TM a pour but de définir une procédure df'acquisition de points en coordonnées tridimensionnelles nécessaires à la modélisation d'une maquette 3D BIM (Building information modeling) plus efficace qu'elle ne l'a été jusqu'aujourd'hui avec les différentes possibilités qu'offre la lasergrammétrie. En effet, le laser scanner acquière énormément de données en peu de temps, mais à contrario la durée du post-traitement reste très élevée. Dans ce TM, un des objectifs est de revenir aux sources en s'aidant d'une station totale pour mesurer des points précis nécessaires à l'élaboration d'une maquette 3D BIM. Une réflexion accrue sur la géocodification et la technique de mesure de ces points a été opérée afin d'optimiser ces processus et de les reprendre semi-automatiquement via une programmation générant une partie de la maquette BIM.

Cette opération doit permettre de gagner un précieux temps sur le post-traitement. Une proposition de logiciel de traitement mais également des solutions technologiques intégrées aux stations totales seront exposées.

Ce travail permet donc d'étudier les technologies embarquées dans les stations totales modernes. Un autre volet du travail de recherche est composé de la réflexion sur les méthodes d'acquisition via la station totale notamment en passant par une géocodification exemplaire permettant de limiter le temps sur place. Enfin, l'automatisation proposée et les tests réalisés doivent permettre de proposer une méthodologie efficace pour l'élaboration de la maquette. Celle-ci sera qualifiée et évaluée sur la base d'essais concrets. Il convient de noter que les illustrations qui ne sont pas référencées dans le document ont été créées par l'étudiant.



Table des matières	
Remerciements	V
Résumé	vi
1. Introduction	1
2. Déroulement	3
3. Définition des obiectifs	4
4. Contexte	5
4.1 Building Information Modeling (BIM)	5
4.1.1. Généralités	5
4.1.2. Niveau de détail d'une maquette (LOD, Level Of Detail)	
4.1.3. Format IFC	
4.2. Techniques d'acquisition du bâti	
4.2.1. Station totale	
4.2.2. Laser scanner	
4.3. Géocodification	
4.3.1. Généralités	
4.3.2. Principe de la géocodification	
5. Matériels et logiciels	19
5.1. Station totale	
5.2. Accessoires annexes	
5.3. Logiciels BIM	
5.4. Logiciels de programmation	
5.4.1. Dynamo	
5.4.2. Python – Anaconda - Spyder	
6. Codifications élaborées	32
6.1. Généralités	
6.2. Les pièces	
6.2.1. Méthode 1 : par intersections de plans	
6.2.2. Méthode 2 : par translation verticale	
6.3. Les portes, fenêtres et ouvertures	
6.4. Autres objets	
6.5. Questionnaire des objets à mesurer	
7. Techniques de mesure	61
7.1. Géoréférencement	
7.2. Points de référence	
7.3. Déplacements	

7.4.	Mode d'emploi de codification	
8. Exp	loitation des données	71
8.1.	Méthode d'exportation	71
8.2.	Fichier étudié pour les outils programmés	72
9. Boi	te à outils programmés	74
9.1.	Les pièces	74
g	9.1.1. Outil 1 : par intersections de plans	
g	9.1.2. Outil 2 : par translation verticale	
9.2.	Les portes, fenêtres et ouvertures	
9.3.	Autres objets	105
10. Mét	hode d'exploitation manuelle	110
10.1.	Enveloppe du bâtiment	110
10.2.	Toiture	113
10.3.	Autres	118
11. Cor	ntrôle des éléments d'une maquette numérique	119
12. Rap	pport photos programmé	124
12.1.	Rapport photos	
12.2.	Outil photos	127
13. Cré	ation d'une maquette numérique par test concret	131
14. Eva	luations et améliorations	160
14.1.	Analyse de qualité	
14.2.	Analyse du temps	
14.3.	Améliorations et perspectives	167
15. Cor	nclusion	169
16. Réf	érences	171
17. List	te des annexes	172

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers les personnes qui ont contribué de manière significative à la réalisation de ce travail de Master.

En premier lieu, mes sincères remerciements vont à M. Bertrand Cannelle, professeur dévoué, qui a suivi attentivement l'évolution de ce travail tout au long de l'année lors de séances régulières toutes les deux semaines. Sa guidance experte et ses conseils ont été inestimables pour la réussite de ce projet.

Je souhaite également exprimer ma reconnaissance envers Mme Fullana Martin, architecte émérite, pour sa générosité en partageant ses connaissances précieuses liées à l'élaboration de la maquette BIM. Ses connaissances ont grandement enrichi la qualité et la pertinence de ce travail.

Un merci particulier à M. Nicolas Saugy, dont la disponibilité et la bienveillance ont été exemplaires. Sa contribution, allant de la validation du travail accompli à donner un cours privé sur l'utilisation d'un logiciel, a été d'une valeur inestimable pour le développement de ce projet.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers M. Sébastien Hämmerli, dont la relecture attentive, la mise en évidence des incompréhensions et les corrections orthographiques ont grandement amélioré la qualité finale de ce travail. Enfin, un merci chaleureux à M. Pierre Willen pour la dernière relecture minutieuse de ce travail. Ses commentaires constructifs ont contribué à la finalisation de ce mémoire.

Résumé

Ce travail de Master explore la redéfinition du rôle de la station totale dans le relevé du bâti, en mettant en avant son potentiel dans la création de maquettes numériques. L'utilisation judicieuse de la géocodification, combinée à une programmation minutieuse, a permis de générer efficacement les éléments de base d'une maquette. L'optimisation de la topologie des éléments et la simplification des mesures ont assuré une compétitivité en termes de temps sur site. Le choix du logiciel Revit, avec l'intégration de Dynamo, a facilité l'automatisation des éléments de base de la maquette tels que les pièces, portes, fenêtres, et ouvertures. Cependant, certaines parties nécessitent une intervention manuelle, comme c'est le cas pour la toiture par exemple. De plus, les outils développés sont parfaitement compatibles pour des compléments éventuels avec d'autres méthodes de relevé telles que le laser scanner. D'autres programmes Dynamo ont été créés pour visualiser les visées depuis la station totale

et pour générer un rapport photos des points mesurés, offrant ainsi un contrôle et une compréhension optimales des éléments mesurés. Ce mémoire démontre ainsi le potentiel significatif de la station totale dans le domaine de la modélisation.

Mots-clés :

Station totale, Laser scanner, Géocodification, Programmation, Maquette numérique, BIM,

Le BIM est aujourd'hui un outil qui a fait ses preuves. Il se répand très vite, il est très performant et continuellement amélioré. Il vise principalement à la gestion d'informations dans la construction qui sont principalement véhiculées par une maquette numérique. Le BIM permet l'échange d'informations et notamment leur utilisation durant toute la durée de vie de l'ouvrage, de la création jusqu'à la démolition, en passant par les phases de construction et d'exploitation. La maquette apporte uniquement la représentation visuelle et physique de l'ouvrage. Une panoplie d'informations peut être appliquée à chaque élément. Il existe différents logiciels permettant la création de ces maquettes 3D. Ils peuvent être utilisables via une licence payante ou d'autres sont simplement libres d'accès. Etant relativement récent, le BIM est aujourd'hui assimilé à une maquette 3D mais, il est bien plus que cela. En effet, c'est une suite de méthodes tout au long de la conception, de la construction et d'exploitation d'un bâtiment. Il permet de dire qui fait quoi et à quel moment. Il est principalement utilisé lors de nouveaux projets architecturaux, souvent de grande envergure.

Le BIM commence à trouver sa place également dans le domaine de la gestion de l'ouvrage, soit dans la phase d'exploitation et de maintenance. Il est cependant à noter que le démarrage d'un projet BIM peut s'avérer plus facile par la phase initiale de conception du projet que sur la base d'un bâtiment existant. Il parait évident qu'il ne sera pas possible d'obtenir toutes les informations d'exécution d'un bâtiment existant (tuyauterie, type de fondation, etc.). Des investigations relativement complètes devraient alors être menées afin d'obtenir une partie des réponses mais sans garantie de pouvoir disposer de l'ensemble des informations nécessaires. Cela dit, ces informations pourraient s'avérer inutiles pour une gérance qui, par exemple, aurait besoin uniquement des surfaces des chambres et des objets attachés à ces dernières.

Toutefois, la gestion des bâtiments existants via le BIM commence à connaître un certain essor. Les clients réalisent peu à peu la puissance de ces applications et le gain de temps et de gestion que peut procurer un tel investissement. En effet, le BIM permet d'apporter des informations géométriques, architecturales, d'entretien, de coût, etc. sur tous les objets visibles dans une pièce.

Ce travail de Master vient s'intégrer dans cette phase d'exploitation et de maintenance. L'objectif sera de fournir la géométrie 3D d'un bâtiment à un architecte sous format BIM. L'élaboration d'une maquette BIM par un géomètre comprend notamment l'ensemble des sols, murs, plafonds, portes, fenêtres, ouvertures en façade, escaliers, balcons ainsi que la toiture. Ceci correspond donc aux éléments de base d'une maquette. Des éléments complémentaires peuvent y être ajoutés tel que des piliers, barrières, emprises des cuisines, positions des prises électriques, etc. Ceux-ci sont regroupés dans des éléments complémentaires à la géométrie de base. Ces informations peuvent être mesurées facilement par une autre personne que le géomètre. L'architecte pourra alors avec ses propres connaissances compléter la maquette avec toutes les informations nécessaires demandées par son client.

Pour arriver au résultat escompté, il est nécessaire d'aller mesurer sur place les bâtiments devant faire l'objet de la maquette. Il existe à ce jour une panoplie d'instruments permettant de le faire. Ils comportent tous leurs avantages et leurs inconvénients. Une chevillière et un simple distancemètre laser pourraient suffire. Toutefois, il est facile de comprendre que la méthode serait fastidieuse en temps de mesures et que la précision finale de cette maquette risquerait d'avoir des tiraillements peut-être non négligeables sur son ensemble. La technologie phare utilisée aujourd'hui pour ce genre de demande est la lasergrammétrie. Celle-ci comprend le distancemètre laser traditionnel et les solutions de scan 3D nouvelle génération. L'acquisition des données 3D par laser scanner et l'assemblage des scans sont les méthodes les plus fréquemment utilisées pour réaliser ce type de demande. Bien que l'acquisition des mesures soit rapide sur le terrain, la méthode de nettoyage et de reconstitution des géométries ainsi que la gestion des topologies restent une étape relativement longue. Les informations acquises par un laser scanner ne sont pas nécessairement toutes utilisées et

exploitées, ceci en raison d'une non-utilité ou de lacunes de traitement d'information. De plus, les données sont lourdes en termes de poids de stockage, il faut prévoir suffisamment de place dans les serveurs. Les informations telles que les photos prises lors des mesures et l'intensité de retour des points sont exploitées uniquement en cas d'interrogation. Il est important de noter que dans cette démarche, il est de coutume de compter 5 à 10 fois plus de temps pour le post-traitement que pour l'acquisition des données. Ce travail de Master a pour but de casser un peu les codes et de revenir aux sources de la géomatique. Il vise à utiliser une station totale pour mesurer uniquement et précisément les points nécessaires à l'élaboration d'une maquette ceci dans le but de gagner du temps en grande partie sur le post-traitement. En effet, un point muni d'un code bien réfléchi pourra être appelé via des applications de programmation relativement facilement. Par conséquent, la codification rigoureuse d'une suite de points permettra de concevoir des lignes, plans et volumes. Il s'agira donc de mettre en place des méthodologies de mesure pour chaque élément de base nécessaire à la maquette et de proposer une programmation permettant de constituer en grande partie la maquette 3D directement en format BIM.

Les stations totales sont à ce jour dotées d'une grande technologie mais malheureusement peu exploitée dans son ensemble. Les experts dans le domaine connaissent très bien les instruments, leur précision et leur méthode de mesures nécessaire à la réalisation des différents mandats du métier. La réflexion sur les exports des données fait partie intégrante du travail afin de coupler programmation aisée et gain de temps. Ce rapport met également en avant des fonctions des instruments parfois méconnues du grand public servant également au montage d'une maquette.

2. Déroulement

Le flux opérationnel (workflow) de ce travail de Master est schématisé sur la figure suivante. Le schéma indique les quatre grandes phases ainsi que les étapes qui les composent. La correspondance des phases avec les chapitres du présent rapport y est également précisée.



Actuellement, les techniques utilisées pour la réalisation d'une maquette numérique d'un bâtiment existant reposent essentiellement sur l'utilisation de nuages de points, acquis par laserscanner ou par photogrammétrie. La réalisation du modèle numérique se fait ensuite par numérisation à partir des géodonnées, qui prend 5 à 10 fois plus de temps que l'acquisition elle-même. Les stations totales sont peu utilisées pour ce type de travail, alors qu'elles possèdent des logiciels embarqués permettant de visualiser des plans et ou des données 3D au fur et à mesure des acquisitions.

Le but de ce TM est d'étudier l'utilisation des stations totales pour de la modélisation de bâtiment.

Voici les étapes clefs du TM :

- Etudier les possibilités des logiciels embarqués des stations totales (le choix du constructeur sera fait en début du TM, avec le candidat). Des possibilités d'un autre constructeur seront également étudiées dans un 2^{ème} temps
 - Formats d'imports / exports
 - Type de données (utiles) pouvant être acquises
- Etudier les possibilités des logiciels de modélisation pour passer des géodonnées, issues des stations totales, à une/des maquette(s)
- Identifier les étapes pouvant être automatisées et celles nécessitant une intervention humaine, soit via paramétrage spécifique, soit parce que l'automatisation n'est pas possible et/ou rentable.

Il existe un grand nombre de logiciels sur le marché dans chacun des domaines mentionnés. L'étudiant devra faire une pré-analyse afin de choisir le (ou les) logiciel(s) à utiliser, en définissant les critères utiles pour savoir quel outil doit être utilisé.

La notion de rentabilité doit être vu aussi bien sous l'angle financier, que celui du temps passé pour réaliser la tâche.

Au moins deux cas d'usage distincts seront établis afin de vérifier la faisabilité et la rentabilité du processus, dans le cadre d'un bureau

4.1. Building Information Modeling (BIM)

4.1.1. Généralités

De nos jours, le BIM est en plein essor. Beaucoup d'acteurs semblent vouloir prendre part à cette technologie sans vraiment connaître sa signification. Il n'y a pas de définition concrète du BIM. Toutefois, en français ceci peut se traduire par la « Modélisation des informations du bâtiment ». Ce qui représente finalement une nouvelle méthode de gestion, principalement conçue pour les nouveaux projets de constructions et s'appuyant sur une maquette numérique 3D contenant des données structurées du bâtiment.

Le BIM permet le partage d'informations tout au long du cycle de vie du bâtiment ; de son élaboration jusqu'à sa démolition. Il permet ainsi aux professionnels de centraliser l'ensemble des informations et des outils nécessaires à la gestion d'un bâtiment. Le BIM ne se limite pas qu'à un acteur. En effet, beaucoup d'intervenants sont amenés à participer à un projet BIM : architectes, économistes, bureaux d'études, génie civil, terrassiers, électriciens, etc. Cette branche est donc considérée comme une démarche participative pour la gestion d'un projet de construction qui se rallie autour d'une maquette numérique permettant de couvrir le cycle de vie du bâtiment.



Figure 1: Processus BIM de l'étude à la démolition (ingeo.fr, géomètre-expert)

Par simplification, les étapes principales du BIM sont les suivantes :

Planification :

Cette étape est l'élaboration du projet dans ses grandes lignes. Il faut notamment définir les usages BIM et les différentes étapes de réalisations.

Conception :

Cette phase représente l'élaboration du modèle tridimensionnel par l'architecte. Ensuite, il pourra transférer sa maquette pour que les autres professionnels puissent commencer leur conception sur la base du modèle architecturale présenté. Par, exemple, l'ingénieur structure reprend le modèle de l'architecte pour ajouter sa propre conception et le repartagera avec l'architecte. L'architecte actualisera la maquette pour ensuite la transmettre aux autres corps de métier, ainsi le modèle s'enrichit petit à petit de toutes les informations utiles aux divers acteurs.

Construction :

Cette étape permet de visualiser l'état de la construction tout en contrôlant les coûts et la planification du projet initial. Il s'agit d'un contrôle des différents éléments du projet qui permet de faire ressortir d'éventuels problèmes ceci dans un souci d'économie de temps et d'argent.

Maintenance :

Cette dernière étape permet de gérer le bâtiment durant son cycle de vie et d'ajouter au modèle 3D les informations nécessaires à la gestion et à sa maintenance. Il est important de souligner qu'environ 70% du coût du cycle de vie d'un ouvrage concerne la phase d'exploitation. Les maîtres d'ouvrage peuvent avec cet outil élaborer une stratégie de management. Trois notions sont importantes à définir :

- Gestion des services généraux : Objectif d'assurer le fonctionnement optimal, la sécurité, le confort de l'environnement bâti tout en intégrant les processus, technologies et les occupants du bâtiment.
- Gestion du patrimoine : Stratégie d'acquisition et de revente des biens immobiliers dans le but de les valoriser.
- Gestion des actifs : Gestion opérationnelle du bâtiment, les baux, travaux, gestion locative, etc.

À la suite des différentes étapes du processus, il est aisé de remarquer que le BIM n'est pas uniquement un bâtiment numérique en 3 dimensions. Il fait l'association de beaucoup d'autres informations. En effet, le BIM permet d'aller jusqu'à 7 dimensions, comprenant en plus la gestion du temps (4D), les quantités et les coûts (5D), la durabilité et l'énergie (6D) ainsi que la gestion du bâtiment (7D). L'objectif principal de ce travail de Master est d'obtenir la modélisation 3D du bâtiment. Toutefois, les autres dimensions du BIM devront également être fonctionnelles. En effet, les différents objets de la maquette doivent pouvoir être quantifiés : Il s'agira par exemple de comptabiliser les surfaces (5D), d'identifier les éventuelles sources d'énergie (6D) et de renseigner les objets d'un appartement (7D).



Figure 2: Les 7 dimensions du BIM (Cours de Ophélie Vincendon, Etat de Genève)

Quelques exemples d'utilisation directement liée à la mise en place d'un BIM ci-après :



Figure 3: Généralité sur un BIM avec la maquette 3D, les objets-attachés, les informations sur les objets ainsi que la structure des éléments, (Cours de Ophélie Vincendon, Etat de Genève)

• Génération de vues 3D, plans d'étages, coupes, façades synchronisées



Figure 4: Exemple de création de 3 vues : vues 3D, plan d'étage et plan façade (Cours du Prof. Bertrand Cannelle)

- Open
 Other
 No
 Desin
 Modifier
 Outling
 Outling
 Open
 Open · O I S 原要量因 例 % 00 C 法提 读读 C LA 1 90,85 365.62 STALLATION DE CHANTIER GIENE ET SECURITE 110/0/054461250#4E86808 30111 GIENE ET SECURITE - INSTALLATION DE CH 25 の 単 単 ふ な LE GAR LLATION DE CHANTIER - HYGIENE ET SECURITE TERRASSEMENTS GENERALIY Total INSTA 21000.00 60.0 1.4 1.4.2 144 R STOCK DE TERRE VEGETALE ET REGALAGE 43360.2 1.5.1 TILISER EN REMBLAIS 4.50 171337.50 12 40 47 ESSAIS 1.7.21 E PLAQUES 0 POLAIRE 🚾 CP - 94 249 , 57 566
- Génération de métrés pour des appels d'offres

Figure 5: Exemple de projet de terrassement avec export des métrés nécessaires pour un appel d'offre (Cours Prof. Bertrand Cannelle)

E Refresh Select All . Find Items & Links D Pn er 🐉 Batch Utilit B Ø 6 Quick Reset All. C Append Sele File Options Unhide All Pr DataTools F Selection Tree Sets Select & Sear et + Data Sources Configure Simulate 0 Filter by Status
Column Set
Show Hierarchy Rules... Show Display Dates: Planned vs Actual 👻 Zoom Planned Start Planned End Actual Start W31 W32 30/07/2001 25/09/2001 31/07/2001 > > 19/09 31/07/2001 01/08/2001 06/08/2001 30/07/2001 01/08/2001 02/08 _ S_A393_REIN_DEEP_E30 S_DEEP_FOUNDS_E10 03/08/2001 02/08/2001 02/08 06/08 æ

• Planification sur les chantiers

Figure 6: Organisation sur le chantier ainsi que sa planification (bimbtp.com, Clément Valente)

4.1.2. Niveau de détail d'une maquette (LOD, Level Of Detail)

Le niveau de détail d'une maquette est le niveau de représentation graphique intérieure et extérieure, des objets qui le composent et il est défini selon les besoins du projet. Un projet pourra avoir besoin d'une représentation élevée des structures intérieures, de l'ensemble des portes, fenêtres, des réseaux électriques et de la plomberie par exemple, alors qu'un autre uniquement de l'état architectural. Pour tous ces éléments, un degré de détails particulier peut être défini. Il doit être adapté à l'usage final de la maquette demandée par le mandant. Habituellement, ces niveaux vont de 100 à 500, le plus élevé étant le plus précis graphiquement.



Figure 7: Niveau de détail d'une maquette LOD 100 à LOD 500 (biblus.accasoftware.com)

Il est encore important de noter que la notion de niveau de détail n'est pas uniquement appliquée à la géométrie. En effet, un niveau de détail de l'information donné à l'objet doit être également évalué. L'exemple ci-dessous démontre les données qui peuvent être appliquée à une paroi porteuse selon son degré de niveau d'information.

LOG					
LOI	Dimensions	L/I/h et ouvertures approxi- matives	L/I/h et ouvertures exactes	Evidements, incorporations	Armatures, inserts acier
Données de spécification	Exigences utilisation espaces Principe de conception	Exigences ouvertures Classe de résistance au feu prévue Exigence de protection contre l'incendie Porteur / non porteur Exigences de charge Classe de sécurité parasismique Exigences d'acoustique Conductivité thermique prévue Exigences d'átanchéité Poids propre	Matériaux Surface Ajouts Indice d'incendie Inserts en acier supposés Contenu de l'armature Type de coffrage Tracé conduite principale Dimensions ouvertures Impédance acoustique Conductivité thermique effective Valeur de la barrière de vapeur effective Capacité thermique effective	Classe de résistance au feu effective Inserts acier exacts Liste d'acier Coffrage exact Tracé des conduites exact Ouvertures exactes	Documentation

Parois porteuses – béton coulé en place | C2 Parois porteuses, C5 Prestations complémentaires au gros œuvre

Figure 8: Niveau d'information d'une paroi porteuse (Définition swiss BIM LOIN – (LOD) bauen-digital.ch)

Une analyse des niveaux de détail géométrique et d'information est proposée dans ce travail de Master. Il est important de définir les possibilités maximales de cette méthode par géocodification afin de répondre au mieux aux attentes des clients.

4.1.3. Format IFC

Le format IFC (Industry Foundation Classes) est un format destiné à l'interopérabilité entre les différents logiciels de maquette numérique. Il s'agit d'un format libre entrant dans la catégorie des OpenBIM. Ceci a été créé dans le but d'améliorer les échanges et la collaboration entre les intervenants. Le format permet de décrire les objets ainsi que leurs caractéristiques mais également les relations avec les différents autres objets de la maquette. Finalement, ce format permet un gain de temps dans les échanges qui se voient nettement accélérés. Notamment grâce à une suppression des tâches requérantes quant à l'adaptation des fichiers dans le format souhaité par votre mandant. Ainsi des erreurs et des pertes de données sont évitées. L'IFC est aujourd'hui un standard et il est devenu une norme ISO.

En complément, le BFC (BIM Format Collaborating) permet de communiquer les informations de coordination séparées de la maquette BIM. Il va contenir notamment, des captures d'écran, des commentaires, des auteurs, des dates de création, des plans de coupes, etc. sans directement interagir avec le modèle de base. Finalement, il est principalement conçu pour les utilisateurs de différents logiciels BIM pour collaborer sur d'éventuels problèmes liés au projet.



Figure 9: Logo IFC et BCF (Openbim.fr)

A noter que chaque logiciel a son propre format natif. Ces formats, appelés ClosedBIM, ne sont donc pas transmissibles entre logiciels de traitement BIM. L'image ci-dessous illustre les logiciels utilisant le BIM en 2023. Dans un premier temps, il est nécessaire de faire un choix parmi l'ensemble de ces logiciels permettant de réaliser l'ensemble de la chaîne de traitement nécessaire à l'élaboration d'une maquette numérique. A noter que la méthode et la technique développées sur les logiciels retenus dans ce travail pourront être redéveloppées sur d'autres logiciels du même type.



Figure 10: Illustration de l'écosystème logiciels BIM en 2023 (odum.digital)

4.2. Techniques d'acquisition du bâti

Dans ce chapitre, les différents types et techniques d'acquisition permettant d'obtenir des données pour modéliser un bâtiment 3D sont décrits. En effet, ces dernières années, les différents types d'instruments permettant de relever le bâtiment se sont particulièrement développés, délaissant peu à peu le tachéomètre pour ce type de mandat. A travers ces quelques lignes, un descriptif de la station totale utilisée dans le relevé du bâti d'aujourd'hui est mis en avant et une comparaison avec les laser scanners est effectuée.

4.2.1. Station totale

La station totale est l'instrument du géomètre permettant l'acquisition précise de n'importe quel point topographique choisi par l'opérateur.

Dans le bâti, cet instrument est souvent utilisé pour les relevés des façades. L'opérateur choisit alors soigneusement chaque point nécessaire pour répondre à son mandat tel que coins de portes, fenêtres, faîtes et corniches par exemple. Il dessinera ses plans souvent manuellement en connectant les points les uns après les autres relativement rapidement via des lignes 3D dans un logiciel de dessin. Il est généralement très peu utilisé à l'intérieur des bâtiments, car il faut suffisamment d'espace dans les pièces pour stationner avec l'instrument. Il est également nécessaire d'avoir un nombre suffisant de points de référence en vue pour orienter l'instrument, d'où découle une précision d'orientation qui doit être suffisamment précise et homogène sur l'ensemble du relevé



Figure 11 : Relevé d'une façade à la station totale orientée sur 3 points de références

Pour réaliser des relevés du bâti, il est nécessaire d'appliquer le procédé figuré dans l'illustration ci-dessus. Une partie de ce travail de Master, démontre une technique d'approche concernant les méthodes et outils de relevés à la station totale dans des endroits qui peuvent paraître confinés et difficiles d'accès.



Quelques exemples d'utilisation de la station totale concernant le relevé bâti :

Figure 12: Dessin d'une façade sur la base des points relevés (géopixel.fr)



Figure 13: Façade construite sur un logiciel de dessin (erp-services.fr)



Figure 14: Relevé des faîtes et corniches avec photos à l'appui (plan établi par Alpha-géo SA)

4.2.2. Laser scanner

Les scanners laser sont les outils de la numérisation 3D, ils ont en effet été développés principalement à cet effet même s'ils peuvent être utilisés à d'autres tâches comme les contrôles d'ouvrages par exemple La technologie d'acquisition de ces instruments utilise généralement un laser diffusé par un miroir rotatif à très grande vitesse. Ceci permet de mesurer de manière rapide et sans contact l'environnement souhaité et ceci avec une trame régulière selon la distance de l'objet. Chaque retour laser fournit une coordonnée 3D dans le système de coordonnées locales de l'instrument. L'ensemble de ces coordonnées retourne un nuage de points. Une deuxième station au scanner donnera un nouveau nuage de points dans un autre système. Les scanners sont aussi dotés d'un appareil photos intégré permettant de colorer les points relevés mais également d'obtenir une photo 360° pour l'aide à la décision.



Figure 15: Principe du relevé scanner, nuage de points brut d'une habitation (ctrlbim.com)

Que ce soit pour des relevés intérieurs ou extérieurs, il est nécessaire que les nuages de points de chaque scan puissent être assemblés entres eux afin d'obtenir un nuage de points unique et homogène. Pour ce faire, il existe plusieurs méthodes :

1) Géoréférencement par sphères (post-traitement)

Des sphères sont en général posées sur site et doivent être connues en coordonnées pour permettre le rattachement d'un scan au système de coordonnées choisies. Ces points peuvent être mesurés, par la méthode voulue, tant qu'ils sont déterminés dans les précisions attendues par le mandataire (GNSS / station totale). Toutes les cibles n'ont pas besoin d'être mesurées dans le système de coordonnées retenues. Seul trois points bien répartis sur la zone de mandat suffisent à géoréférencer l'ensemble d'un nuage de points assemblés. Mais pour assembler deux scans entre eux, comme à l'intérieur de bâtiments par exemple, il faut poser des points homologues ou points de passages. Ils prennent généralement la forme de sphères, cibles, damiers. A noter, qu'il faut idéalement minimum trois points homologues pour assembler deux nuages proprement.

Les logiciels d'aujourd'hui permettent également de réaliser des assemblages de nuage à nuage. En effet, le logiciel reconnaît certaines caractéristiques entre les différents nuages et permet d'affiner l'ajustage. Toutefois, ne pas mettre de points homologues peut s'avérer dangereux. Car bien que le logiciel comprenne relativement bien les caractéristiques entre nuages, il se peut que plusieurs pièces se ressemblent fortement et qu'une erreur d'assemblage engendre un nuage de points faux. Ceci notamment dans le relevé de bâtiments 3D, où souvent, les étages, couloirs, escaliers, etc. peuvent être similaires.

Exemple de laser scanner utilisant cette technique de mesure :



Faro Focus 3D X130

Figure 16: Scanner Faro Focus (faro.com)

Trimble X12



Figure 17: Scanner Trimble x12 (trimble.com)

2) Géoréférencement par orientation (direct)

Certains scanners sont dotés des mêmes facultés qu'un tachéomètre notamment pour s'orienter au sein d'un système de coordonnées. Il suffit alors de disposer d'un réseau de référence et de s'orienter dessus avant de réaliser le scan. Pour ce faire, il faut que le réseau soit complet sur l'ensemble de la zone de mandat. A l'intérieur des bâtiments, il faudrait également des points de référence judicieusement disposés et connus en coordonnées. Cette méthode est moins utilisée pour le relevé de bâtiments 3D en raison de sa complexité, du temps supplémentaire à mettre en place les points, de la détermination de ce réseau de référence et de l'orientation de l'instrument. Il est plus fréquent d'utiliser cette méthode sur des contrôles d'ouvrages permettant d'évaluer les mouvements d'une structure dans le temps. Ainsi, deux nuages de points de deux époques différentes peuvent être comparés relativement facilement. A noter que les stations totales d'aujourd'hui disposent souvent d'un laser scanner intégré. Il faut toutefois mentionner que la rapidité d'acquisition des données est bien plus faible qu'un scanner dédié uniquement à cet effet.



Figure 18: Scanner Leica P50 (leica.com)





Figure 19: Station totale Trimble S9 avec scanner intégré (Trimble.com)

3) Géoréférencement en temps réel

D'autres produits ne cessent d'arriver sur le marché, les développeurs savent que la modélisation 3D ne cesse d'être de plus en plus employée et va devenir encore plus importante ces prochaines années. Pour exemple, Leica a développé un scanner laser portatif qui est expressément dédié au relevé des bâtiments et à leur environnement. Le principe est relativement simple ; il suffit d'allumer l'appareil, de le tenir dans la main et de marcher simplement à l'extérieur du bâtiment et à l'intérieur en parcourant les pièces. A ceci, il faudrait encore géoréférencer l'ensemble du nuage de points. Le fournisseur annonce l'intégration d'une technologie LiDAR d'une portée allant jusqu'à 25m pour un nombre de point de 420'000 points par seconde. Il serait intéressant de tester la précision absolue sur des cas concrets.

Leica BLK2GO



Figure 20: Leica BLK2GO (leica.com)

Figure 21: Leica BLK2GO (leica.com)

Une fois le nuage de points géoréférencé correctement, il reste toute la phase de traitement, ayant pour objectif d'aboutir à une maquette numérique BIM, utile, par exemple, pour un architecte. Il n'existe pas de solution toute faite permettant de modéliser des objets BIM sur la base d'un nuage de points. Il sera nécessaire, dans un premier temps, de réaliser un nettoyage des éléments non nécessaires à la maquette. En effet, des éléments tels que rideaux, chaises, télévisions, vêtements, sont également relevés dans le nuage de points. D'autre part, il se peut également que certains secteurs soient obstrués par différents objets mais nécessaires à l'élaboration de la maquette, comme une cuisine cachant un ou des angles d'une pièce. La reconstruction de ces angles doit être traitée minutieusement par l'opérateur. Finalement, la modélisation avec des éléments BIM IFC peut être réalisée, et ceci en général manuellement.

Il n'est en général pas aisé d'estimer le temps nécessaire pour réaliser une maquette numérique. Cela dépend fortement des éléments demandés à la base par le mandant. Toutefois, avec les expériences réalisées par la HEIG-VD mais aussi par le bureau de l'étudiant, il faut compter entre 5 à 10 fois plus de temps pour le post-traitement que pour l'acquisition.

Au travers de ce travail de Master il est donc souhaité de parvenir à mesurer des points précis avec une station totale selon la demande du client et sans autre information superflue. Ceci avec le risque de prendre davantage de temps lors de l'acquisition mais avec la volonté de le diminuer considérablement lors du post-traitement.

4.3. Géocodification

4.3.1. Généralités

La géocodification est une méthode permettant d'ajouter un attribut à un point. Elle peut servir simplement à classifier une liste de points ou à générer automatiquement des symboles et ou des géométries via un programme dédié à ceci. Autrement dit, il est nécessaire pour chaque point mesuré, de lui attribuer un code (en fonction de la nature du point) que le logiciel traduira sur un dessin. Dès que l'opérateur a terminé son relevé, il suffit d'exporter son fichier de coordonnées habituellement en ASCII généré directement par l'appareil. Ce fichier contient généralement, le n° du point, les coordonnées X,Y,Z ainsi que le code du point. Un logiciel peut facilement lire ce genre de fichier et ainsi programmer la réalisation du dessin.

Il est aisément compréhensible qu'une géocodification bien réfléchie permet de gagner un temps considérable au niveau du post-traitement. A ce jour, de nombreux logiciels utilisent déjà la géocodification. Toutefois, ils sont souvent liés aux logiciels de DAO (dessin assisté par ordinateur) et ne sont pas élaborés pour réaliser de la 3D type bâtiment. En effet, beaucoup de ces logiciels permettent de réaliser de manière quasi automatique des plans topographiques, des profils en long ou en travers, des plans de réseaux souterrains mais pas directement du bâti. Et, forcément avec les lasers scanner, il se peut que les entreprises élaborant les logiciels n'aient pas proposé de solution dans ce sens. D'où la nécessité et l'envie de réaliser ce travail de Master afin de proposer une nouvelle solution à la modélisation du bâti. Dans le sous-chapitre suivant, des exemples de géocodification utilisés dans l'entreprise de l'étudiant et permettant de comprendre les principes de cette branche sont exposés. Il en existe évidemment bien d'autres.

4.3.2. Principe de la géocodification

Points :

La codification d'un point unique peut être représentée par un symbole sur le plan. La coordonnée du point est simplement fournie au logiciel ainsi que son code afin d'importer l'élément demandé dans le dessin. Ces éléments ponctuels sont donc généralement dépourvus d'échelle, le symbole importé reprend directement l'échelle du dessin. De même que l'orientation, les symboles auront toujours la même orientation sur le plan. En raison du nombre de codifications importantes, il est souhaité que l'opérateur soit formé quant à la codification afin d'être plus rapide et efficace sur le terrain.



Figure 22: Bibliothèque de symboles ponctuels intégrés dans	
Géomensura (fiche geomensura)	

Symboles importés depuis une bibliothèque selon son code. Un regard circulaire visitable devra être appelé avec le code 200.

N° Pt	Х	Y	Z	Code
1000	6000.00	2000.00	100.00	200

Lignes / polylignes :

Tout comme les symboles, les lignes peuvent se dessiner automatiquement au moment de l'importation des points. La codification d'une ligne doit faire l'objet de plusieurs points et de codes spécifiques lui permettant de créer la ligne entre une paire de coordonnées. Il est alors nécessaire d'avoir une codification relativement simple permettant d'éviter des erreurs par l'opérateur sur le terrain. Les prochaines lignes sont des exemples de géocodifications créées et utilisées dans le bureau de l'étudiant pour la génération de polylignes dans le cadre d'un relevé topographique.

Pour chaque point, le code doit être composé de 3 paramètres, séparés par «.»

1) Nature de la ligne

Il est nécessaire de lui introduire, dans un premier temps, le code de sa nature (canalisation d'eaux usées, bord de chaussée, haut de fouille, ligne de rupture du terrain etc...) qui peut être traduit par des chiffres. Ce code permet d'aller rechercher un certain type de ligne, de lui définir une épaisseur et de lui attribuer une couche dans le système DAO.

Assa	ainissement <mark>EU</mark>
20	Tuyaux
21	Reg communal
22	Reg privé
23	Séparateur
24	Déversoir
25	STAP

Figure 23: Gécodification personnalisée sur Mensura (Alpha-géo SA) cette nature et le n° 20

Ligne de nature Assainissement EU, le code de

N° Pt	Х	Y	Z	Code
1000	6000.00	2000.00	100.00	20

2) Numéro de la ligne

Il faut définir le numéro de la ligne, il pourrait y avoir peut-être plusieurs lignes de la même nature. Il faut alors les incrémenter à chaque fois qu'il y en a une nouvelle.



Le numéro de la ligne est défini après le numéro de nature par la séparation «.». Le .1 signifie que c'est un point sur la ligne n° 1 alors que le .4 sur la ligne n° 4.

N° Pt	Х	Y	Z	Code
1000	6000.00	2000.00	100.00	20. 1
1006	6020.34	2031.25	100.45	20. 4

Figure 24: Situation de ligne EU

3) Mode de construction de la ligne

Finalement, il reste à lui introduire le mode de construction de la ligne (ligne droite, fin de ligne, continuation de ligne (polyligne). Pour chaque point, il sera alors nécessaire de lui introduire le 3^{ème} paramètre de mode de construction.

Code	Mode de dessin
1	Ligne droite
10	Fin de ligne
20	Fin de ligne + commence une nouvelle ligne

Figure 25: Code du mode de construction de la ligne (Alpha-géo SA)



Le code pour le mode de construction est le dernier paramètre. Le .1 signifie un début de ligne, le .10 signifie une fin de ligne, le .20 signifie qu'il faut fermer la ligne en cours et débuter une nouvelle ligne afin de conserver la topologie entre deux lignes.

N° Pt	Х	Y	Z	Code
1000				20.1 .1
1001				20.1 .10
1002				21
1003				20.2 .1
1004				20.2 .20
1005				20.3 .10
1006				20.4 .1
1007				20.4 .10

Figure 26: Situation des points mesurés pour les eaux usées

Cet exemple a été paramétré sur le logiciel Géomensura. Il faut savoir que beaucoup de logiciels différents utilisent la géocodification. Il ne s'agit ici que de quelques exemples.

Autres exemples d'objets ponctuels au CFF :

Les CFF ont leur propre codification pour entretenir leur base de données. A cet effet, ils ont élaboré un document répertoriant et harmonisant l'ensemble des éléments qui doivent être mesurés dans l'emprise de leurs propriétés. L'illustration ci-dessous démontre comment et où mesurer un signal au CFF avec la géocodification portant le n° 410.



Signaux CFF

Altitude obligatoire	
Type/code alphanum.	4 IS B1
Code numérique	410
Point de relevé	milieu, sur socle signal
Précision	± 2-3 cm
Remarques	FSS = signalisation en cabine, aucun signal fixe disponible (Photo 5)

Figure 27: Géocodification pour le relevé d'un signal au CFF (Document photo RSI, CFF)

Pour le présent travail, il est prévu de concevoir une nouvelle géocodification et de créer une programmation permettant de créer des objets 3D BIM automatiquement. Il sera alors nécessaire de trouver une solution rapide au relevé afin de limiter le temps sur place. La solution devra aussi être facile d'utilisation afin d'éviter que des erreurs dans le codage des points soient commises et engendrent des erreurs d'interprétation de l'outil généré. Une notice sur la codification sera également érigée pour permettre à l'opérateur de géocoder correctement chaque point sur place en fonction de l'objet à créer.

Ce chapitre décrit les différents instruments et logiciels retenus pour l'élaboration de la maquette numérique. Dans un souci pratique, le choix des instruments s'est principalement porté sur l'instrumentation du bureau de l'étudiant. A noter qu'une brève analyse sur les autres logiciels et instruments est aussi effectuée car plusieurs d'entre eux peuvent également réaliser certaines fonctions de la méthode proposée dans ce travail. Il est toutefois nécessaire de transposer la méthode d'un logiciel à l'autre.

5.1. Station totale

Comme vu précédemment, les stations totales semblent ne pas être l'instrument idéal pour du relevé bâti mais ceci ne veut pas pour autant dire qu'elles n'ont pas évolué technologiquement ces dernières années. Comme décrit, l'objectif est de relever le bâti mais également d'apporter un plus avec la technologie embarquée de ces instruments souvent peu utilisée car méconnue. Les stations totales dites classiques se reportent principalement aux éléments suivants repris de l'instrument S6 de chez Trimble :

- Mesures de points via des directions horizontales, des angles verticaux, des distances sur prismes ou par méthode laser avec pointeur laser visible si souhaité, codification possible
- Visée manuelle ou automatique avec un Autolock sur prisme (centrage automatique)
- Un servomoteur robotisé
- Bulle de niveau électronique
- Implantation de points, lignes, courbes, etc.
- Tracklight, fonction permettant de traquer le prisme et de rester en position sur ce dernier en mouvement
- Un écran graphique des points mesurés avec possibilité de fond de plan graphique ou imagé
- Calculs Cogo (calculs de points par intersections, calculs de surface, etc.)
- Export des jobs, des mesures, des points et ceci selon différents formats



Figure 28: Exemple sur un contrôleur Trimble avec diverses fonctions activables de l'instrument Tribmle S6 qui n'est pas considéré comme un instrument de dernière génération (Trimble.com)

L'instrument utilisé pour ce travail de Master est une station totale de la marque Trimble. Il s'agit du modèle SX10. Le coût d'un tel instrument se situe aux alentours des 50'000 CHF. La particularité de cet instrument c'est qu'il ne possède pas d'oculaire ; les mesures se font donc directement par vidéo avec le contrôleur de l'instrument. A noter que l'instrument le plus récent de la gamme est le SX12 ayant en plus un point laser vert activable lors de la prise de mesures. D'autres instruments de cette marque peuvent être utilisés. Il est absolument nécessaire d'avoir le paramètre vidéo dans les fonctions de l'instrument.



Figure 29: Fonction vidéo de la station totale Trimble SX10 (Trimble.com)

Station totale robotisée Trimble SX10



Figure 30: Station totale SX10 (trimble.com)

Figure 31: Contrôleur TDC600 (Trimble.com)

MESURE D'ANGLES		
	Type de capteur	encodeur absolu avec graduation diamétrale
	Précision des mesures d'angle ¹	1" (0,3 mgon)
MESURE DES DISTANCES		
Précision		
Mode prisme	Standard ²	1 mm + 1,5 ppm
	Poursuite ^{2,3}	2 mm + 1,5 ppm
Mode Direct Reflex	Standard ²	2 mm + 1,5 ppm

Figure 32: Précision de mesures selon la fiche technique SX10, (trimble.com)

10 Bernarde toor

Cet instrument de dernière génération permet de réaliser l'ensemble des fonctions que remplissaient les anciens appareils mais en plus il permet de réaliser les fonctions suivantes :

- Scanner laser intégré avec une technologie SureScan brevetée de la marque Trimble permettant de relever une grille de point uniforme et homogène en fonction de la distance qu'elle soit courte ou longue.



Figure 33: Méthode SureScan comparée avec un scan traditionnel en fonction de la distance (trimble.com)

Caméra intégrée qui permet de réaliser des mesures sur la base de la caméra. La première information, c'est qu'il est possible de faire la visée d'un point directement sur l'écran du contrôleur avec la possibilité d'avoir plusieurs zooms. L'oculaire ne devient plus forcément nécessaire sachant qu'en plus le pointé laser peut être activé en tout temps selon le modèle de station totale. D'autre part, pour chaque point relevé, l'affichage du point reste sur le fond de l'image du contrôleur via son n° de point. Cela permet d'éviter les doublons mais également d'éviter les oublis par un contrôle simplement visuel. Finalement, cet instrument peut générer des photos des points mesurés. Le point est alors mentionné par une croix avec un choix de couleurs possibles pour le réticule. De plus, les métadonnées du point peuvent directement être affichées sur l'image avec la possibilité d'actionner les différents paramètres voulus (N° point, Coordonnées, Date, Code).



Figure 34: Photo réalisée à l'aide de la caméra du Trimble S7, avec possibilité d'activer les métadonnées du point mesuré

Tinstantane Dui
du réticule
ire

Figure 35: Paramétrage des options d'affichage sur la photo et de la couleur du réticule

Camér	а																			
Puc	е		 	ca	pte	ur (d'image numér	ique couleur												
Rés	olution		 					x 1536 pixels												
Dist	ance focale		 																	
Prof	ondeur de champ.		 					3 m à l'infini												
Cha	mp de vision		 		16,5	5°>	: 12,3° (18,3 go	n x 13,7 gon)												
Zoo	m numérique		 				4 niveaux (1	x, 2x, 4x, 8x)												
Expo	osition		 				. Spot, HDR, A	Automatique												
Lum	ninosité		 				réglable pa	r l'utilisateur												
Stoo	ckage d'image		 				jusqu'à 2048 :	x 1536 pixels												
Forr	nat de fichier		 					JPEG												
Fact	eur de compressio	on	 				réglable pa	r l'utilisateur												
Diffu	usion vidéo ^{9`}		 					images/sec												

Figure 36: Fiche technique de la caméra intégrée dans le Trimble S7

- Technologie Trimble Vision, permet de visualiser des modèles 3D géoréférencés sous n'importe quel angle et ceci à l'échelle réelle. Ainsi, il est possible de mesurer plus facilement les points demandés par le client et la réalité virtuelle permet de comprendre au mieux les données sur le terrain.



Figure 37: Technologie Vision avec réalité augmentée à l'appuis pour les relevés (Trimble.com)

- Technologie L2P, permet de savoir où se trouve l'instrument et s'il quitte le chantier, possibilité de recevoir une alerte.



Figure 38: Technologie L2P pour la surveillance des instruments de terrain (geocomechile)

Au vu de ce qui précède, l'ensemble des technologies embarquées n'est pas forcément utile pour le relevé du bâti via géocodification. La seule technologie retenue qui semble opportune pour ce travail de Master est la capacité de prendre des photos des points mesurés et ceci avec la possibilité de retourner l'information de la géocodification. En effet, par la suite, la géocodification proposée permet, non seulement de construire des éléments BIM mais également de situer facilement où le point se situe dans le bâtiment à l'aide d'étage et de n° de pièce. Comme dit précédemment, l'architecte devra lui-même reprendre la maquette pour modifier, ajouter ses propres familles d'objets et les d'autres informations comme la matière d'une façade, etc. La puissance d'une photo peut mettre en avant les informations que l'architecte a en partie besoin. Par exemple, la photo d'un point mesuré sur une porte lui permettra de :

- situer la porte à l'aide de la codification dans la maquette facilement.
- savoir où est-ce que le point a été précisément mesuré. Il est vrai que cette information est normalement définie au préalable dans le cahier des charges avec l'architecte. Toutefois, il y a très souvent des cas différents de la demande initiale, l'opérateur doit alors faire un choix.
- définir au mieux la matière des objets. En effet, il existe probablement beaucoup de types de portes qu'elles soient en bois, en métal ou autre, avec des architectures bien différentes. Le but est qu'un architecte puisse définir quel est le type de bois utilisé pour cette porte. Il peut encore aller plus loin et par exemple étudier le type de poignée, de serrure de la porte et définir le type de montant.
- définir le sens d'ouverture de la porte et sur quel montant elle est fixée. Dans la solution proposée par la suite, les sens des portes sont aléatoires, un contrôle doit être réalisé à la main avec l'appui des photos comme source de contrôle.

L'exemple d'une porte a été ici mis en avant mais les mêmes principes s'appliquent forcément à tous les points mesurés. Les informations pour les autres objets tels que le type de sols, de murs et de plafonds, type de fenêtres, etc. peuvent être recensées sur cette photo.

La solution peut encore être amenée un peu plus loin dans la réflexion car le BIM permet également de gérer la partie énergétique du bâtiment. Il serait alors possible d'imaginer de mesurer simplement un point sur le centre d'une prise électrique avec la photo attachée. Ainsi, il serait possible de définir le type de la prise, le nombre d'entrées, et de déterminer le voltage par exemple.

Autre exemple, l'électroménager pourrait faire l'objet simplement d'une photo avec la marque et l'étiquette technique fournissant ainsi la consommation. Ceci sans forcément relever directement la géométrie de l'objet mais dans le but de fournir le type d'objet permettant

ensuite à l'architecte de reprendre dans ses modèles 3D directement le bon et d'y ajouter ses valeurs de consommation.

Tout ceci peut également être réalisé avec d'autres instruments de la gamme Trimble munis d'une caméra vidéo. A noter que cette technologie a également été développée par d'autres fabricants que Trimble. Par exemple, Leica Geosystems qui a développé sa gamme appelée Multistation permettant de réaliser également ce type de photos.

Multistation Nova MS 60



Sun



Figure 39: Multistation Nova MS 60 (leica.com)

5.2. Accessoires annexes

Dans ce chapitre, toute l'instrumentation nécessaire pour la réalisation d'un relevé intérieur à la station totale est décrite. Le choix des instruments employés n'a pas nécessairement fait l'objet d'une étude ou d'une comparaison avancée. Le choix s'est fait essentiellement selon les ressources disponibles au sein du bureau de l'étudiant et selon leur capacité à assurer l'utilisation souhaitée.



TDC 600 est un contrôleur sous la forme d'un smartphone. Il est extrêmement léger et mobile, il est possible de le tenir dans la main ou de le fixer sur la station totale. D'autres contrôleurs plus performants sont disponibles chez Trimble mais ils sont trop lourds et encombrant. Un chargeur sera toutefois nécessaire pour charger le TDC durant la pause de midi en raison de la durée relativement longue du relevé.



Trépied GST120 est un trépied utilisé couramment pour les relevés, notamment ceux de précision. Il n'est pas forcément nécessaire d'avoir le meilleur trépied mais il est important de conserver une stabilité optimale pour la mesure des points.



Etoile trépied GST4 de 50cm est primordiale pour les relevés intérieurs, sans ceci, l'instrument ne peut-être stationné sur des sols glissants type parquet ou carrelage. De plus l'étoile est composée d'un anti-dérapant permettant de conserver une station stable et d'éviter des dégâts sur le sol.



GNSS Trimble R12 (facultatif) est un GNSS compatible avec le RTK (Real Time Kinematic). Le GNSS est utilisé uniquement pour le géoréférencement des points de référence. Les coordonnées ne sont pas directement reprises du GNSS. Elles servent uniquement de calage des points de référence sur le système de coordonnées configurées sur le GNSS (MN95 pour la suisse). Cette phase peut être ignorée dans le cas où la maquette est construite dans un système en coordonnées locales, ou si des points de référence sont connus dans le système suisse à proximité du bâtiment mesuré



Prisme GPR121 Leica est utilisé pour l'orientation de la station totale principalement sur les points de référence extérieurs.



Canne à prisme télescopique GLS112 est utilisé comme pour le prisme principalement pour l'orientation des points de référence extérieurs. Sa taille minimale est de 1.47 mètres et de maximum 3.60 mètres de hauteur.



Adaptateur pour porte prisme est utilisé pour s'orienter sur les points posés à l'intérieur du bâtiment et/ou sur des endroits sur lesquels la canne à primes ne peut s'y installer car trop grande. A noter que cet accessoire a été fabriqué par la HEIG-VD. Il sera nécessaire de créer un petit porte prisme maison en cas de nécessité.



Scotch jaune est utilisé pour lancer des points de référence sur les murs et les sols à l'intérieur du bâtiment. Il permet d'éviter de laisser des marques. Il faut mesurer sur cette matière avec le laser de l'instrument.

5.3. Logiciels BIM

Comme expliqué précédemment, il existe un écosystème relativement conséquent autour du BIM. Dans ce travail de Master, le choix du logiciel est particulièrement important car il doit permettre de réaliser une maquette 3D dans le but de générer des objets sous format IFC. De plus, il doit pouvoir être en synergie avec une possibilité de créer des programmes pour la génération d'objets.

Sur le marché, il existe beaucoup de logiciels différents. Deux d'entre eux sont considérés comme leader du marché *(réf. sur OBAT.fr).*

 Le premier est ArchiCAD, il est considéré comme un des meilleurs sur le marché, depuis sa création il n'a cessé de se perfectionner et il est aujourd'hui capable de s'adapter à toutes les échelles de projet. Ce dernier a des fonctions collaboratives élevées permettant de faciliter l'échange d'informations entre les différents acteurs notamment grâce à son interface DWG



Figure 40: Logo ArchiCAD (archicad.fr)

2) Revit est proposé par le groupe Autodesk, il est préposé à la modélisation 3D, les fonctions proposées dans ce logiciel ne sont pas dédiées qu'aux architectes, mais également à tous les corps de métiers impliqués dans le projet du bâtiment. La principale qualité de Revit consiste en la modélisation de bâtiment paramétrique. L'idée est qu'en effectuant des modifications sur un mur par exemple, les autres composants attachés à celui-ci sont automatiquement modifiés pour que le dessin demeure cohérent. A noter que ce logiciel ne fonctionne que sur Windows.



Figure 41: Logo Revit (https://www.autodesk.com)

Le logiciel Revit a été choisi comme logiciel principal pour ce travail de Master. Cette décision a été prise en raison de sa facilité d'apprentissage et de sa large utilisation dans les bureaux d'architecture de la région. Une explication des principales caractéristiques de ce logiciel est donnée ci-après.

Les objets dans Revit s'appellent "des éléments". Par exemple, un mur est un élément à lui tout seul. Autre exemple, une porte dans ce mur est un autre élément. L'imbrication de tous les éléments forme la maquette numérique.







Figure 43: Elément porte accroché sur un élément mur

Chaque élément appartient à une famille. Une famille représente l'ensemble des possibilités géométriques attribuées à un élément. En d'autres termes, une fenêtre en bois avec deux vantaux, par exemple, peut avoir plusieurs dimensions géométriques possibles (140 x 105 cm / 140 x 115 cm / 140 x 125 cm, etc.). Revit permet également d'ajouter un élément à la famille avec d'autres dimensions. Ces éléments sont uniques et possèdent leurs propres identifiants. Les images ci-dessous reprennent l'exemple décrit : à gauche, les propriétés de l'élément fenêtre et à droite l'ensemble des dimensions de la famille de cette fenêtre est représenté.

2 Vantaux 1.414847 x 1.472010 Modifier le type Fenètres (1) Construction Aucun Aucun Type de construction Aucun Type de construction Aucun Matériaux et finitions Aucun Poignée Métal - Laiton satiné Fenêtre Bois - Mélèze d'Amérique Appui Métal - Aluminium ano Appui_2 Bois - Pin Cotes * Hauteur 1.4720 Largeur 1.4148 Epaisseur des couches ex 0.0400 Hauteur de la poignée 1.3000	Propriétés	X
Fenêtres (1) Modifier le type Construction Aucun Fermeture du mur Aucun Type de construction Matériaux et finitions Matériaux et finitions Aucun Poignée Métal - Laiton satiné Fenètre Bois - Mélèze d'Amérique Image Bois - Mélèze d'Amérique Appui Métal - Aluminium ano Appui_2 Bois - Pin Cotes Auteur LA720 Largeur Largeur 1.4720 Epaisseur des couches ex 0.0400 Hauteur de la poignée 1.3000	2 Vantaux 1.414847 x 1.41	72010
Construction Aucun Fermeture du mur Aucun Type de construction Matériaux et finitions Matériaux et finitions Aucun Poignée Métal - Laiton satiné Fenètre Bois - Mélèze d'Amérique Image Bois - Mélèze d'Amérique Appui Métal - Aluminium ano Appui_2 Bois - Pin Cotes * Hauteur 1.4720 Largeur 1.4148 Epaisseur des couches ex 0.0400 Hauteur de la poignée 1.3000	Fenêtres (1)	Modifier le type
Fermeture du mur Aucun Type de construction Image Matériaux et finitions Image Poignée Métal - Laiton satiné Fenêtre Bois - Mélèze d'Amérique Image Bois - Mélèze d'Amérique Appui Métal - Aluminium ano Appui_2 Bois - Pin Cotes Image Hauteur 1.4720 Largeur 1.4148 Epaisseur des couches int 0.0300 Epaisseur des couches ex 0.0400 Hauteur de la poignée 1.3000	Construction	* ^
Type de construction Matériaux et finitions * Matériaux et finitions * Poignée Métal - Laiton satiné Fenêtre Bois - Mélèze d'Amérique Image Bois - Mélèze d'Amérique Appui Métal - Aluminium ano Appui,2 Bois - Pin Cotes * Hauteur 1.4720 Largeur 1.4148 Epaisseur des couches int 0.0300 Epaisseur des couches ex 0.0400 Hauteur de la poignée 1.3000	Fermeture du mur	Aucun
Matériaux et finitions * Poignée Métal - Laiton satiné Fenêtre Bois - Mélèze d'Amérique Image Bois - Mélèze d'Amérique Appui Métal - Aluminium ano Appui,2 Bois - Pin Cotes * Hauteur 1.4720 Largeur 1.4148 Epaisseur des couches int 0.0300 Epaisseur des couches ex 0.0400 Hauteur de la poignée 1.3000	Type de construction	
Poignée Métal - Laiton satiné Fenêtre Bois - Méléze d'Amérique Image Bois - Méléze d'Amérique Appui Métal - Aluminium ano Appui_2 Bois - Pin Cotes * Hauteur 1.4720 Largeur 1.4148 Epaisseur des couches int 0.0300 Epaisseur des couches ex 0.0400 Hauteur de la poignée 1.3000	Matériaux et finitions	*
Fenêtre Bois - Mélèze d'Amérique Image Bois - Mélèze d'Amérique Appui Métal - Aluminium ano Appui_2 Bois - Pin Cotes * Hauteur 1.4720 Largeur 1.4148 Epaisseur des couches int 0.0300 Epaisseur des couches ex 0.0400 Hauteur de la poignée 1.3000	Poignée	Métal - Laiton satiné
Image Bois - Mélèze d'Amérique Appui Métal - Aluminium ano Appui_2 Bois - Pin Cotes * Hauteur 1.4720 Largeur 1.4148 Epaisseur des couches int 0.0300 Epaisseur des couches ex 0.0400 Hauteur de la poignée 1.3000	Fenêtre	Bois - Mélèze d'Amérique
Appui Métal - Aluminium ano Appui_2 Bois - Pin Cotes * Hauteur 1.4720 Largeur 1.4148 Epaisseur des couches int 0.0300 Epaisseur des couches ex 0.0400 Hauteur de la poignée 1.3000	Image	Bois - Mélèze d'Amérique
Appui_2 Bois - Pin Cotes * Hauteur 1.4720 Largeur 1.4148 Epaisseur des couches int 0.0300 Epaisseur des couches ex 0.0400 Hauteur de la poignée 1.3000	Appui	Métal - Aluminium ano
Cotes * Hauteur 1.4720 Largeur 1.4148 Epaisseur des couches int 0.0300 Epaisseur des couches ex 0.0400 Hauteur de la poignée 1.3000	Appui_2	Bois - Pin
Hauteur 1.4720 Largeur 1.4148 Epaisseur des couches int 0.0300 Epaisseur des couches ex 0.0400 Hauteur de la poignée 1.3000	Cotes	\$
Largeur 1.4148 Epaisseur des couches int 0.0300 Epaisseur des couches ex 0.0400 Hauteur de la poignée 1.3000	Hauteur	1.4720
Epaisseur des couches int 0.0300 Epaisseur des couches ex 0.0400 Hauteur de la poignée 1.3000	Largeur	1.4148
Epaisseur des couches ex 0.0400 Hauteur de la poignée 1.3000	Epaisseur des couches int	0.0300
Hauteur de la poignée 1.3000 🗸	Epaisseur des couches ex	0.0400
	Hauteur de la poignée	1.3000 🗸

Figure 44: Paramètre d'une fenêtre 2 Vantaux dans Revit



Figure 45: Famille Revit 2 Vantaux

Lorsqu'un élément est modifié, il est mis à jour dans toutes les vues du modèle et sur l'ensemble des plans. Il est également mis à jour dans les nomenclatures permettant de comptabiliser et quantifier les objets



Figure 46: Vue 3D dans Revit





Figure 47: Vue en plan dans Revit

Nomenclature

	~								
<nomenclature des="" fenêtres=""></nomenclature>									
Α	В	С	D	E	F				
Nombre	Famille et type	Largeur	Hauteur	Niveau	Hauteur de l'appui				
2 vanaux. 1.4 1	2 Vantaux: 1.4148	47 1.41	1.47	Niveau 3	0.62				
1	2 Vantaux: 1.4148	47 1.41	1.47	Niveau 3	0.62				
1									
2 Vantaux: 2.04	49657 x 1.172026								
1	2 Vantaux: 2.0496	57 2.05	1.17	Niveau 3	0.93				
1	i i i i i i i i i i i i i i i i i i i		- i	- i	÷				

Figure 48: Nomenclature des fenêtres dans Revit

Revit dispose de plusieurs catégories de fonctions permettant de créer des éléments. En effet, l'onglet principal comprend l'ensemble des outils pour l'architecture. Il y a également la possibilité d'étudier les structures des bâtiments, les éléments en acier, les réseaux et les fluides.



Figure 49: Onglet architecture dans Revit avec ses fonctions

Le format propriétaire de Revit est le. rvt. Il est possible d'exporter depuis ce dernier, des modèle 2D en fichiers 2D (.dwg, .dxf, .dwf, .jpg ...) mais aussi en fichiers 3D (.dwg 3D, .fbx ...). Il faut faire attention au fait que Revit n'est pas compatible avec tous les logiciels. Il est donc nécessaire de passer par un autre format, comme le format IFC.

Le choix de Revit s'est également appuyé sur le fait que ce logiciel possède un outil permettant de réaliser des programmes. En effet, Autodesk a également développé un soft s'appelant Dynamo permettant d'interagir directement avec la maquette. Ainsi, il est possible de créer des éléments et/ou de les modifier directement à travers ce dernier. Le chapitre suivant lui est dédié.

5.4. Logiciels de programmation

5.4.1. Dynamo

Dynamo est une plate-forme de programmation open source principalement conçue pour les concepteurs d'applications qui travaillent en étroite relation avec Revit. Il est toutefois possible de télécharger ce logiciel indépendamment, ce qui permet son utilisation pour d'autres tâches en dehors de la création d'éléments sur Revit.



Figure 50: Logo Dynamo (dynamobim.org)

Dynamo est un logiciel de programmation visuelle. Il appartient à la catégorie des langages informatiques qui utilisent des icônes pour créer des programmes. Au lieu d'écrire du code, il est possible d'assembler ces icônes pour représenter différentes actions. Cette approche rend la programmation plus accessible pour les personnes qui ne sont pas des expertes en informatique et en programmation, car elle est plus facile à comprendre.

Ce logiciel permet l'utilisation de codes programmés déjà créés sous forme d'icônes. Il est possible de les déplacer et les connecter pour construire un programme complet. De plus, il est facile de personnaliser et de créer ces propres pièces en les programmant manuellement. En utilisant ces deux options, il devient possible de créer des applications relativement complexes. Le langage de programmation derrière chaque pièce de puzzle est du Python. Ce langage est peut-être le plus adapté, il favorise la programmation structurée, fonctionnelle et orientée objet.

L'exemple suivant illustre le fonctionnement. Dans Dynamo, les boites s'appellent des nœuds. Il y a donc 7 nœuds dans l'exemple ci-dessous. Le but de ce petit programme est de créer un cube par deux points. Les informations sur la gauche du nœud "Cuboid.ByCorners", définissent les informations dont il a besoin pour fonctionner (lowPoint et heighPoint). Il s'agit dans ce cas du point le plus bas et du point opposé le plus haut. Pour y arriver, il est nécessaire de recourir à d'autres nœuds. Le nœud "Point.ByCordinates" permet de créer un point, il est possible alors de connecter un nœud "Number" est lui donner les valeurs des composantes X, Y et Z. Ici, il est introduit (X=0 ;Y=0 ;Z=0). Pour le deuxième point, un Slider est utilisé avec des valeurs 2 ainsi le point aura les coordonnées suivantes : (X=2 ;Y=2 ;Z=2). En exécutant le programme, un cube apparaîtra dans Dynamo avec des arrêtes de longueur 2 et géoréférencé dans un système cartésien.



Figure 51: Exemple de construction d'un cube à l'aide du programme Dynamo

Il existe beaucoup de nœuds différents. Il faut savoir que ces nœuds sont continuellement en création et mis à jour par des développeurs soucieux d'améliorer le programme. Le logiciel de base propose une panoplie de nœuds permettant de réaliser une grande partie des programmes comme représenté ci-dessous :



Figure 52: Nœuds disponibles dans Dynamo

A noter que l'ensemble des nœuds de base est expliqué clairement et par des exemples concrets dans le lien suivant : <u>https://primer2.dynamobim.org/</u>

Parfois, il peut arriver qu'un programme ait besoin d'un nœud spécifique pour effectuer une tâche particulière, mais que ce nœud soit manquant. Heureusement, il est possible que ce nœud ait déjà été créé par des développeurs. C'est là que Dynamo intervient en proposant une plateforme intégrée dans le logiciel qui permet de rechercher des ensembles de nœuds appelés "packages".

Cette plateforme facilite la recherche des packages de nœuds. Des filtres peuvent également être utilisés pour affiner la recherche. Par exemple, en utilisant un filtre basé sur le nombre de téléchargements, des packages populaires largement utilisés par les utilisateurs peuvent être trouvés. Cela permet de trouver plus facilement les nœuds nécessaires et d'améliorer l'efficacité de la programmation.

Rechercher des p	backages	
Rechercher		▼ †∔
archi-lab.net IRevit, IronPython2 Revita ksobon, sobon.ko	✓ Installê ● Afficher * 2023.213.1722 ★ 298 ± 547862 (les détails 5 Oct 2022
LunchBox for Dynamo	+ Installer ● Afficher	les détails
archinate	♥ 2018.8.8 ★ 60 ± 406205 《	8 Aug 2018
spring nodes	✓ Installé 🛛 Afficher	les détails
• dimitar.ven	🏲 210.1.1 ★ 140 🛓 342067 🔮	24 Feb 2022
Rhythm	+ Installer 0 Afficher	les détails
🔁 jühnp	♥ 2023.6.2024 ★ 101 🛓 307871 🔮	12 Jun 2023
Clockwork for Dynam 🕅	⁄iis à jour) ✓ Installé 0 Afficher	les détails
🛯 andydandy	♥ 2.6.0 ★ 177 ± 302138 ●	26 Jun 2023

Figure 53: Recherche de packages sur Dynamo

Finalement, les packages complémentaires suivants ont été utilisés lors de ce travail de Master. Il faudra alors les installer en cas d'utilisation des outils proposés dans ce rapport.

Références d'espace de travail 👘 🗙							
Pacl	kages 🚯		-				
3	Nom	Chemin	Version				
1	spring nodes	C:\Users\micha\AppData\Roaming\Dynam	210.1.1				
1	Clockwork for Dynamo 2.x	C:\Users\micha\AppData\Roaming\Dynam	2.4.0				
1	DynamoIronPython2.7	C:\Users\micha\AppData\Roaming\Dynam	2.1.0				

Figure 54: Packages complémentaires téléchargés pour les outils développés
5.4.2. Python – Anaconda - Spyder

Durant ce travail, il a également été nécessaire de travailler avec du code Python. A l'aide du programme Anaconda, il est possible d'utiliser plusieurs logiciels open source, dont Spyder, qui permet de coder avec le langage Python. Il s'agit du même langage exploité par Dynamo, mais cette fois, il n'est pas question de nœuds déjà codés qui peuvent s'imbriquer les uns par rapport aux autres. Il est possible uniquement d'écrire du texte en langage Python. Cette interface permet de profiter de bibliothèques déjà créées. Une bibliothèque Python est une collection de modules associés contenant des paquets de codes réutilisables plusieurs fois dans un programme. Il est nécessaire de les installer préalablement avant de pouvoir les appeler dans le programme en cours de développement. Dans le cadre de ce projet, le codage est utilisé uniquement pour la réalisation d'un rapport automatique avec l'ensemble des photos mesurées avec la station totale. Cette phase sera détaillée dans le cadre du développement du rapport au chapitre 12.



Figure 55: Logiciel Anaconda



Figure 56: Application Spyder

Dans le cadre de ce travail de Master, les bibliothèques suivantes ont dû être utilisées pour le programme développé :

- Reportlab est un ensemble d'outils open source qui permet la création de documents PDF à l'aide de Python. Cette bibliothèque offre des fonctionnalités, pouvant aller de simples textes et formes géométriques à des graphiques complexes et des illustrations, le tout pouvant être intégré dans un fichier PDF
- 2) Pillow est une bibliothèque pour le traitement d'images.
- 3) Openpyxl est une bibliothèque Python pour lire/écrire les fichiers Excel xlsx/xlsm/xltx/xltm.

6. Codifications élaborées

Ce chapitre découle de la réflexion élaborée sur la codification durant ce travail de Master. À l'aide des codifications, il sera alors possible de générer des parties de la maquette automatiquement. Toutefois, il reste évidemment une partie à réaliser à la main, ne pouvant pas être automatisée parce que trop complexe ou simplement car plus rapide manuellement. L'ensemble des codifications proposées dans ce chapitre peut également servir au développement d'une maquette sur d'autres logiciels

Certains choix ont également été faits sur la base d'un entretien avec une architecte experte et formatrice sur le logiciel Revit, notamment sur la forme de la maquette numérique à rendre. Madame Fullana Martin, architecte REG-A, travaille aujourd'hui à son compte sous le nom d'Alinea Architecture et a précédemment occupé le poste de cheffe de projet chez Itten+Brechbühl, l'un des trois plus grands cabinets d'architecture en Suisse.

À noter qu'un deuxième expert dans le domaine BIM, et également formateur sur le logiciel Revit, a également été sollicité. Il s'agit de Monsieur Saugy Nicolas, représentant des produits Autodesk en Suisse romande, travaillant pour le compte de Mensch Maschine SA. Il a permis de valider l'ensemble des choix opérés durant ce travail de Master. Ainsi, les éléments générés dans la maquette numérique par la codification et les outils développés ont été « validés » quant à leur utilisation par les professionnels du métier.

6.1. Généralités

Sur la géocodification explorée dans le contexte du présent document, l'objectif était de réaliser des mesures de points à l'aide d'une station totale. Ces points sont ensuite exportés de l'instrument vers l'ordinateur du bureau, puis décryptés via leur codification dans un logiciel afin de représenter le trait ou le symbole sur un plan informatique. Ici, la méthode conçue part du même principe, sauf que l'ensemble de la chaîne est créé, de la géocodification à la programmation.

Les points évoqués dans ce sous-chapitre sont les principes à prendre en compte pour élaborer une codification pour le relevé du bâti. Un choix entre l'ensemble des solutions proposées a été réalisé pour arriver à la codification finale décrite dans les sous-chapitres suivants.

Différentes géocodifications possibles :

Tout d'abord, il est important de réfléchir à comment le code peut être nommé en programmation. Il faut savoir qu'en programmation, il est possible d'utiliser les lettres, en minuscules et en majuscules, ainsi que les chiffres. Dans l'encart ci-dessous, la face d'un mur mesuré sur la base de 4 points est représentée. Il peut y avoir plusieurs codifications qui peuvent permettre la construction de cette face, 2 solutions sont exposées pour exemple :



Figure 57: Relevé d'une face d'un mur Par 2 solutions de codification

Solution 1 :

N° Pt	Х	Y	Ζ	Code
P1				M1
P2				M1
P3				M1
P4				M1

Cette solution serait de donner le code M1 (Mur1) à ces 4 points. Ainsi, sur l'ensemble des points mesurés, le programme rechercherait le code M1, pour finalement trouver 4 points ayant ce code.

Toutefois, il faudrait, encore que l'ordre des points soit défini dans un ordre d'arrivée logique pour créer une polyligne 3D entre ces points sans intersection.

Solution 2 :

N° Pt	Х	Υ	Ζ	Code
P1				M.0
P2				M.1
P3				M.1
P4				M.2

Cette solution pourrait également fonctionner. Le code M.0 représenterait le début d'une polyligne 3D, M.1 la continuation et M.2 la fin et la fermeture de la polyligne. Il suffirait de programmer la recherche sur une suite logique. S'il est indiqué « .0 » il faut aller chercher le « .1 », le suivant s'il y en a un et s'il n'y en a plus un « .2 » pour fermer le tout.

Géocodification simple et facile d'utilisation :

De plus, il est impératif qu'une géocodification soit facile d'utilisation afin d'éviter les erreurs de transcription et que l'exécution soit relativement rapide. Tout le long de cette recherche, il a fallu conserver cette idée afin de ne pas créer de trop longues chaînes de caractères devenant presque inutilisables pour un opérateur sur le terrain. Une codification programmable facilement mais longue et difficile est représentée ci-dessous :



Figure 58: Mesure d'une porte par codification complexe

Exemple :						
N° Pt	Х	Y	Ζ	Code		
P1				S1.B2.E3.R4.M5.P1		
P2				S1.B2.E3.R4.M5.P1		
P3				S1.B2.E3.R4.M5.P1		
P4				S1.B2.E3.R4.M5.P1		

Définition de la codification :

S1 représente le site sur lequel, le n° 1,

B2 est le 2^{ème} bâtiment du site,

E3 est le 3^{ème} étage du bâtiment,

R4 est la 4^{ème} pièce de l'étage,

M5 est le 5^{ème} mur de la pièce,

P1 la 1^{ère} porte du mur 5,

Cette solution parait un peu compliquée, mais d'un point de vue technique elle pourraît très bien fonctionner. Il faut cependant que l'opérateur soit très attentif lors de l'entrée du code dans l'instrument. Une erreur et le logiciel programmé ne pourra pas reconnaître le point en question. Au niveau du temps sur place, il est relativement conséquent, s'il faut 2 minutes pour mesurer un point, la codification deviendrait alors inefficace par rapport au temps consacré.

De plus, quand la codification devient trop complexe, l'opérateur a des chances de se tromper non seulement dans la longueur du texte mais également dans la logique. Ici, il a fallu remplacer le terme pièce par « R » qui signifie Room car le terme « P » est déjà utilisé par la porte. Ceci peut porter à confusion sur la durée.

Topologie entre les éléments :

Une autre approche qui doit faire l'objet d'une attention particulière réside dans la topologie des éléments entre eux. En effet, une maquette numérique 3D doit être propre pour une utilisation optimale, sans superpositions ni espaces ni trous entre certains éléments.

La topologie est à traiter en répondant à cette question : Comment connecter deux objets entre eux ?

- Faut-il lever deux fois le même point pour définir un objet connecté entre l'un et l'autre ?
- Faut-il trouver un code permettant de les lier en relevant simplement un point ?

L'exemple des deux faces de mur ci-dessous représente les deux cas les plus probables d'erreur de topologie que peut générer un relevé dit classique. Sur l'image de gauche, le mur 1 et le mur 2 ne s'intersectent pas peut-être en raison d'une imprécision du relevé à la station totale ou d'une imprécision de pointé par l'opérateur. A savoir que, deux points mesurés exactement au même endroit peuvent avoir deux coordonnées sensiblement différentes et peuvent finalement créer ce genre de problème. Sur l'image de droite, les deux murs s'intersectent. Ceci doit faire l'objet d'une réflexion dans la démarche opérée.



Figure 59: Problèmes topologiques entres 2 faces de murs

Il y a plusieurs solutions pour régler ces problèmes. Ceci ne passe pas forcément directement par la géocodification mais par la programmation suite à la codification. C'est notamment le cas de la topologie. Les deux exemples suivants peuvent y palier mais ils ne sont bien évidemment pas exhaustifs :



Figure 60:Deux exemples de solutions pour assurer une topologie en 2 faces de murs

N° Pt	Х	Υ	Ζ	Code
P1				M1
P2				M1
P3				M1
P4				M1
P5				M2
P6				M2
P7				M2
P8				M2

Avec cette illustration seule, il n'est pas possible de comprendre la solution. En effet, elle passe directement par la programmation ; il faudra réaliser un buffer autour des points de 5 à 10 [mm] par exemple et rechercher les points s'intersectant pour en faire finalement une moyenne. Ainsi, (P2 + P5) / 2 et (P4+P7)/2 formeraient deux nouveaux points permettant de lier les deux faces du mur. Ceci requiert tout de même deux points mesurés au même endroit depuis la même station. Cela n'est pas très efficace en terme de temps mais l'idée fonctionne. Cette 2ème solution permet de relever deux points de moins et via la codification de signaler que les points P2 et P4 font partie intégrante des 2 murs. Ainsi, le programme recherchera M1 et il trouvera 4 points. Même principe pour pour M2. Il sera encore nécessaire d'obtenir les points dans un ordre permettant de créer la face et ceci sans intersection.



N° Pt	Х	Υ	Ζ	Code
P1				M1
P2				M1.M2
P3				M1
P4				M1.M2
P5				M2
P6				M2



Primitives géométriques :

Le type de primitives géométriques qu'il faut obtenir pour la réalisation de la maquette et un élément important à prendre en compte. En effet, les objets BIM sont généralement définis par des solides. Pour exemple, un mur est défini par plusieurs couches de matériaux d'une certaine épaisseur formant un mur complet d'une certaine dimension. Le détail des couches des murs relève des compétences de l'architecte habituellement.

Fami Type Epais Résis Mass	lle: : seur totale: tance (R): e	Mur de base Ext. Brique 22 0.3200 (Par dé 0.4074 (m²·K), 286.44 kJ/(m²·	Exemple d	e hauteur:	6.0000		
COL	iches			COTE EXTERIEUR			
	Fo	onction	Matériau	Epaisseur	Retournements	Matériau structurel	Variable
1	Limite de	la couche pri	Couches au-dessus	0.0000			
2	Porteur/O	r/Ossature [1] Brique, commune		0.2200		✓	
3	Limite de	de la couche pri Couches en dessous		0.0000		•	
4	Isolant/Vio	Vide [3] Maçonnerie - Isolant		0.1000	\checkmark		

Figure 61: exemple de configuration de mur dans Revit avec possibilité d'avoir plusieurs matériaux

Toutefois, les géométries sont fournies par le géomètre et doivent être utilisables pour l'architecte. Comment obtenir la géométrie nécessaire pour disposer d'un élément Revit IFC utile à un architecte ?

- Faut-il relever des plans ?
- Faut-il relever directement des solides ?

Lors d'un entretien avec Madame Fullana Martin architecte, il a été mis en avant qu'il ne faut pas que le géomètre fournisse trop d'informations qui ne sont pas de sa compétence. Concernant, les épaisseurs des objets (murs, sols, plafonds, etc.), l'architecte doit de toute manière reprendre les éléments en configurant lui-même ses couches types. Par conséquent, un mur d'épaisseur nulle comme une feuille de papier serait suffisant. L'architecte modifierait alors lui-même un élément de type feuille en suivant les bonnes pratiques de la profession, en mesurant la cotation entre les deux murs feuilles pour obtenir l'épaisseur générale.

A noter que dans le cas d'une maquette de type maintenance et gestion pour une gérance, il ne serait à priori même pas nécessaire de reconstituer un mur solide car il n'y aurait pas d'utilité directe.



Figure 62: Mur de type feuille

N° Pt	Х	Y	Ζ	Code
P1				M1
P2				M1
P3				M1
P4				M1

L'objet de type mur ne nécessiterait que de quatre points pour le générer. L'objet de type solide doit faire l'objet de minimum un point supplémentaire. Ainsi, le calcul de

Figure 63: Mur de type solide

N° Pt	Х	Υ	Ζ	Code
P1				M1
P2				M1
P3				M1
P4				M1
P5				M1

L'objet de type solide doit faire l'objet de minimum un point supplémentaire. Ainsi, le calcul de l'épaisseur peut se faire aisément par programmation en calculant une distance entre un plan et un point.

Simplification des mesures :

Ce point est un des paramètres majeurs. En effet, pour que l'opérateur soit le plus efficace possible sur le terrain, il faut proposer une solution permettant d'accélérer le rythme du relevé sur place. Comme vu précédemment, il est possible de lier 2 faces de murs en relevant 2 points de moins pour conserver une topologie correcte. Ceci est l'une des simplifications qu'il est possible de réaliser. Il est possible d'aller encore plus loin en construisant des éléments par des transformations géométriques. Ce qui permet également de conserver une topologie parfaite entre les éléments.



Figure 64: Solution sans construction géométrique

N° Pt	Х	Υ	Ζ	Code
P1				M1
P2				M1.M2
P3				M1
P4				M1.M2
P5				M2
P6				M2

moins par arrête sur place.



Figure 65: Solution avec construction géométrique

N° Pt	Х	Υ	Ζ	Code
P1				M1
P2				M1.M2
P3				M1.M2
P4				M2

Cette solution premet de relever deux points de Cette solution permet de contruire les deux facettes de murs avec seulement quatre points. En effet, le mur 1 peut très bien se construire de cette manière :

- Programmer une polyligne 3D entre les points P2 et P3
- Copier et translater cette polyligne sur le vecteur 3D P2-P1.
- Créer une surface sur la base de ces deux polylignes.
- La même opération peut être réalisée pour le mur (espace)2 :
- Programmer une polyligne 3D entre les points P2 et P3
- Copier et translater cette polyligne sur le vecteur 3D P2-P4.

Maquette semi-corrigée :

Ce point est également d'une importance capitale pour l'élaboration d'une maquette numérique dans le cadre de ce type de relevé. La question suivante s'est posée pendant l'élaboration des outils de modélisation : est-il nécessaire de rectifier ou de corriger certaines géométries dans l'idée d'obtenir une architecture parfaitement homogène et géométrique sur l'ensemble de la maquette ? Il s'avère que la solution retenue a été imposée directement par le logiciel Revit. S'agissant des éléments de type mur, sol, plafond, porte, fenêtre, paramétrables, il est obligatoire de les construire de manière parfaitement verticale, respectivement horizontale. Il n'était donc pas possible de créer des éléments de type mur non verticaux, sur la base de 4 points non collinaires dans le plan vertical.

Initialement, ne sachant pas encore très bien comment fonctionne le logiciel Revit avec ses éléments, il avait été décidé de conserver la maquette au plus juste par rapport à la réalité sur place. Donc, que les points mesurés soient considérés comme fixes et non déformables. Ainsi, un plafond et un sol pouvaient ne pas être une surface parfaitement horizontale. De plus, un sol d'une pièce par rapport à une autre pièce pouvait avoir également certaines différences de niveaux, certes petites mais existantes.



Ceci fut également le cas pour les murs. Ils étaient aussi créés sur la base des mesures générant ainsi des murs non verticaux.



Après ces constats, il a été nécessaire de trouver une solution pour horizontaliser et verticaliser les éléments. La codification joue un rôle dans la manière d'horizontaliser et de verticaliser des éléments. Par exemple, l'ensemble des points définissant les sols pourraient être appelés relativement facilement si une géocodification bien précise était élaborée. Ensuite, il serait nécessaire de faire, par exemple, la moyenne altimétrique de l'ensemble des altitudes des points sols afin d'attribuer cette altitude à chaque élément de type sol de l'étage.



Figure 68 : Mesures de 3 sols

Définition de la codification :

P1 représente la pièce 1 et S le sol

Cette solution permet sans problème en programmation d'aller rechercher le code S et de ressortir tous les points sur le sol en question. Il suffit de réaliser la moyenne altimétrique de ces points S pour finalement obtenir l'altitude du niveau du sol.

N° Pt	Х	Y	Ζ	Code
P1				P1.S
P2				P1.S
P3				P1.S
P4				P1.S
P5				P1.S
P6				P2.S
P7				P2.S
P8				P2.S
P9				P2.S
P10				P2.S
P11				P2.S
P12				P3.S
P13				P3.S
P14				P3.S
P15				P3.S

Pour clore cette partie, une conciliation des principes exposés peut amener à une codification compétitive sur le terrain et programmable sur un logiciel. Pour résumer, il est nécessaire d'avoir une codification simple et facile d'utilisation pour limiter les erreurs sur le terrain. La topologie entre les éléments doit être programmée et étudiée en coalition avec la géocodification. Le type feuille de papier pour les éléments est à priori optimale pour un architecte qui s'occupera lui-même de définir les solides par la suite avec ses propres connaissances. Une simplification des mesures est absolument nécessaire pour être compétitif en termes de temps sur place. Les points manquants seront complétés par la construction géométrique d'éléments, ceci automatiquement via une codification le permettant. Pour finir, il est nécessaire de corriger les points mesurés afin d'obtenir des murs verticaux et des sols et plafonds parfaitement horizontaux.

A noter que l'ensemble des solutions exposées précédemment sont des exemples de codification, il peut y en avoir d'autres. Ces méthodes servent principalement à démontrer les points importants d'une géocodification compétitive. Les prochains sous-chapitres définissent la codification développée dans le cadre de ce travail de Master. En fonction des exigences du cahier des charges, il peut être préférable d'ajuster la codification. La méthodologie suivante a été élaborée pour répondre à une demande qu'on pourrait définir comme étant générale.

6.2. Les pièces

Dans ce sous-chapitre, il est exposé deux méthodes permettant de réaliser des pièces automatiquement via la codification et la programmation. Chacune de ces méthodes peut être utilisée en fonction de ses avantages et de ses inconvénients. L'opérateur aura donc le choix d'appliquer la première ou la deuxième en fonction de la configuration de la pièce. A noter que ce chapitre évoque les principes des méthodes élaborées et l'application de la géocodification, les détails de programmation figurent dans le chapitre 9 dédié. Tout d'abord, il faut définir ce qu'est une pièce. Il s'agit simplement des murs, du sol et du plafond qui forment finalement un volume fermé. A ce stade, il faut simplement penser à des briques qui viennent se poser côte à côte sans ouverture ni connexion entre elles. Horizontalement, l'espace entre ces cubes retranscrit l'épaisseur des murs et en verticalité l'épaisseur entre le plafond et le sol supérieur. A noter que ces outils sont développés en fonction des étages des bâtiments. En effet, la programmation élaborée ne peut générer qu'un étage après l'autre en raison de la géocodification relativement simple mise en place mais surtout similaire entre les étages. Par exemple, une pièce n°1 sera présente au rez-de-chaussée mais également à chaque étage. De plus, pour que les niveaux entre les pièces soient exactement les mêmes, cette opération était plus facilement programmable ainsi.



Figure 69: Exemple de pièces fermées sans connexion entre elles

Il faut toutefois être conscient que ces outils ne permettent pas de générer tous les types de pièces. Les pièces ayant des murs, des sols ou plafonds courbés ne peuvent pas être construits directement à l'aide des outils développés dans ce travail de Master. Ceci est un choix délibéré, s'il devait y en avoir, ils seraient alors construits manuellement ; le temps consacré pour les générer serait presque négligeable. D'autre part, la codification et la programmation deviendraient encore plus complexes.



Figure 70: Mur incurvé intérieur non compatible (maisoncreativ.com)



Figure 71: Mur ou voûte non compatible (maisoncreativ.com)

6.2.1. Méthode 1 : par intersections de plans

Cette méthode a été élaborée sur la base d'une réflexion relativement simple. Comment peuton construire une boîte permettant d'obtenir une topologie parfaite et ceci sans forcément voir tous les angles de la pièce qui parfois sont obstrués ? La recherche ne fut pas longue pour imaginer que si l'on intersecte toutes les faces mesurées approximativement de cette boîte alors la topologie sera respectée sur l'ensemble. Finalement, l'idée finale s'est tournée sur l'intersection de plans. En effet, il faut un minimum de trois points pour réaliser un plan. Alors, si l'opérateur avec sa station totale mesure trois points au laser sur chaque face de cette boîte, six plans peuvent être obtenus. Pour terminer, il suffit d'intersecter ces plans pour obtenir la géométrie de la boîte. À noter que seul trois points par face ont été privilégiés pour cette méthode, permettant à l'opérateur d'être le plus rapide possible sur place. Il pourrait également être judicieux d'en mesurer quatre par face pour éviter l'influence d'un point qui pourrait présenter une imprécision lors d'une mesure.

Le principe de base de cette méthode est schématisé ci-dessous :



Phase 1 : relevé des points à la station totale

Figure 72: Principe du relevé par intersections de plans à l'aide de la station totale

Phase 2 : Créer des plans par trois points. Les triangles représentent uniquement la surface couverte du relevé, la surface restante est considérée comme de l'extrapolation. Il faut ensuite créer un plan collinaire aux trois points pour chaque face.



Figure 73: Création des plans par 3 points mesurés

Phase 3 : Agrandir les plans pour qu'ils s'intersectent entres eux pour finalement ressortir la boîte recherchée.



Figure 74: Agrandissement des plans pour qu'ils s'intersectent

Concernant la codification de ces points :

Codification par intersection de plans - Méthode 1

Définition de la codification :

E1 signifie que c'est le deuxième niveau de de l'immeuble tous étages confondus. E0 signifie que c'est le sous-sol s'il devait y en avoir un sinon c'est le rez-de-chaussée., pareil si plusieurs niveaux en sous-sol.

M1 représente la méthode de codification utilisée. La méthode par intersection de plans est la méthode 1 (M1).

P1 évoque le n° des pièces de l'étage. Cette pièce est au deuxième niveau et c'est la première mesurée.

F1, F2, F3, F4 représentent les faces des murs que l'on doit relever. Il est nécessaire d'avoir 3 points par face.

P signifie le plafond, et S le sol, il est également nécessaire de relever 3 points par face.

	V	V	7	Quela
N° Pt	X	Y	Ζ	Code
P1				E1M1P1F1
P2				E1M1P1F1
P3				E1M1P1F1
P4				E1M1P1F2
P5				E1M1P1F2
P6				E1M1P1F2
P87				E1M1P1F3
P8				E1M1P1F3
P9				E1M1P1F3
P10				E1M1P1F4
P11				E1M1P1F4
P12				E1M1P1F4
P13				E1M1P1P
P14				E1M1P1P
P15				E1M1P1P
P16				E1M1P1S
P17				E1M1P1S
P18				E1M1P1S

Avantages	Inconvénients
Il est extrêmement facile de mesurer et de codifier les points. En effet, 3 points de suite mesurés ont déjà la même géocodification. Ensuite, il est nécessaire de modifier uniquement le ou les deux derniers codes pour continuer le relevé. Les numéros des points sont facultatifs, ils sont au libre choix de l'opérateur.	Cette méthode permet uniquement de mesurer une boîte par 4 murs, un sol et un plafond. 6 faces maximums. L'outil développé calcule des intersections entres les plans, s'il y avait 2 faces de plus, il y aurait un trop grand nombre d'intersections. La programmation deviendrait alors très difficile voire impossible.
Le temps consacré au relevé d'une pièce, peu importe sa taille, est vite réalisé. Il est également facile de retrouver quelle est la pièce et où elle se situe.	Le fait de ne pas mesurer directement les 4 angles de la pièce, provoque une approximation sur les parties non mesurées. Mesurer 3 points sur un rectangle provoque automatiquement des surfaces externes au triangle relevé. Ces parties sont considérées comme des surfaces extrapolées. Il est important d'essayer de mesurer la plus grande surface possible afin de limiter cet effet extrapolatif, pouvant générer des imprécisions sur la face relevée en cas de légères imprécisions d'une mesure par exemple.
Un point très important avec cette méthode, il est possible de reconstruire un angle non mesurable. En effet, un angle qui serait caché par une cuisine ou une armoire par exemple peut être construit sans mesure directe sur ce dernier.	Les murs sont considérés comme plan. Il n'est pas possible de mesurer un voûtage sur une façade ou un plafond bombé par exemple.
La topologie est respectée dans son ensemble.	

Finalement, ce premier outil est certes efficace en termes de rapidité pour les mesures, mais comprend également quelques imperfections car il est seulement possible de mesurer une boîte de 6 faces. Il est donc possible de mesurer un seul type de pièces, mais à noter qu'il s'agit tout de même du type le plus courant dans nos immeubles. Une deuxième méthode a cependant été élaborée permettant de pallier cette imperfection.

6.2.2. Méthode 2 : par translation verticale

Cette solution a été élaborée en complément à la première. En effet, le principal inconvénient de la première solution correspond au nombre limité de faces pouvant être mesurées. Cette deuxième méthode permet à l'inverse de mesurer un nombre quelconque de faces. Mais à contrario, il est obligatoire de mesurer directement les angles des pièces. Si l'un des angles ne peut pas être mesuré, il serait alors nécessaire d'appliquer les techniques de mesure par déplacements décrites au chapitre 7 ou de recalculer ces angles en post-traitement. Pour ce faire, il serait nécessaire de mesurer des points supplémentaires permettant de calculer les coordonnées tridimensionnelles de ces points. Cette méthode appelée par translation verticale a été trouvée en cherchant à minimiser au maximum le nombre de points à relever dans une pièce. Le principe est relativement simple, la méthode implique de mesurer l'ensemble des angles du plafond ceci dans un ordre logique. De cette manière, le plafond est connu. En mesurant, un point quelconque sur le sol, il est alors possible de calculer la hauteur sous plafond entre le point mesuré sur le sol et le plafond, par la projection d'un point sur une surface. Il est donc possible de réaliser une translation du plafond de la hauteur calculée en direction du nadir. Finalement, il reste à joindre les deux éléments pour obtenir les faces des murs. Le choix s'est porté sur la mesure du plafond plutôt que du sol, ceci en raison des faibles obstructions du plafond comparé au sol. Il faut dire qu'il y a souvent des plinthes couvrant l'angle recherché entre l'intersection du sol et des murs. Le principe de base de cette méthode est schématisé ci-dessous :





Figure 75: Principe du relevé par translation à la station totale

Phase 2 : Créer une surface à l'aide des 8 points du plafond, calculer la distance du point 1 sur le sol projeté perpendiculairement contre le plafond. Copier le plafond et le translater de la distance calculée D en direction du nadir.



Figure 76: Construction par translation du sol

Phase 3 : Joindre le sol et le plafond pour obtenir les faces des murs



Figure 77: Joindre le sol et le plafond pour obtenir les faces des murs

Concernant la codification de ces points :

е	N° Pt	Х	Υ	Ζ	Code
0	P1				E1M2P2P
11	P2				E1M2P2P
	P3				E1M2P2P
n	P4				E1M2P2P
n a	P5				E1M2P2P
	P6				E1M2P2P
	P7				E1M2P2P
ć	P8				E1M2P2P
st	P9				E1M2P2P

Codification par translation – Méthode 2

E1 signifie que c'est le deuxième niveau de de l'immeuble tous étages confondus. E0 signifie que c'est le sous-sol s'il devait y en avoir un sinon le rez-de-chaussée.

M2 représente la méthode de codification utilisée. La méthode par translation est la méthode 2 (M2).

P2P évoque le n° des pièces de l'étage. Cette pièce est au deuxième niveau est c'est la deuxième mesurée.

Le premier point doit être celui du sol. Il est absolument nécessaire de respecter cette règle. Cette méthode fonctionne avec n'importe quel nombre de faces, par conséquent, il est plus facilement en programmation de dire que le premier point correspond au sol.

Avantages	Inconvénients
Il est extrêmement facile à mesurer et à codifier pour l'opérateur. La codification est la même durant toute la mesure de la pièce. Ceci évitant des sources d'erreurs.	L'inconvénient majeur c'est qu'il n'est pas possible de reconstruire un angle qui ne serait pas visible. Il faudrait alors le reconstruire manuellement.
Pour une pièce simple de 4 faces de murs, seul 5 points sont nécessaires. L'optimisation par la construction est très efficace.	Les murs sont construits parfaitement à la verticale. Si ce n'est pas le cas dans la réalité, il faut alors les modifier après la génération des éléments.
Avec cette méthode, il est possible de réaliser des pièces conséquentes d'un nombre de face quelconque.	Les murs sont considérés comme plan. Il n'est pas possible de mesurer un voûtage sur une façade ou un plafond bombé par exemple.
La topologie est respectée dans son ensemble.	Une erreur sur un point provoque une imperfection dans la génération de pièce.

6.3. Les portes, fenêtres et ouvertures

Maintenant que les méthodes pour élaborer les pièces ont été vues, il devient nécessaire d'ajouter les différentes ouvertures à travers les pièces. Trois grandes catégories peuvent être rencontrées :

- Les portes
- Les fenêtres
- Les ouvertures entre les pièces (sans porte)

Comme expliqué dans la partie logicielle, une maquette BIM est conçue d'éléments. Les portes, fenêtres et même les ouvertures font partie des éléments. Tous ces éléments proviennent d'une famille spécifique dans le programme BIM. Par exemple, une famille de porte en bois simple comprend généralement diverses configurations, dimensions et attributs associés à un type spécifique de cette porte. Ceci représente une famille et donc un type de porte. Une porte en métal représentera une autre famille, etc. Tout ceci, pour expliquer qu'il y a énormément de types d'objets différents mais également de dimensions possibles par famille et que tout ceci n'est en général pas directement implémenté dans les logiciels BIM. Il est souvent nécessaire d'aller télécharger des familles d'objets sur internet ou de les reprendre de la bibliothèque de l'architecte. Suite à l'entrevue avec l'architecte spécialisé en BIM, il faudrait idéalement définir combien il y a de types d'objets différents dans le mandat à réaliser et les mesurer selon un code spécifique. Ainsi, lorsque l'architecte reprend la main sur la maquette, il peut directement transformer chaque type d'éléments avec ses propres familles. De plus, avec l'appui de la photo, il peut facilement sélectionner le type de famille correspondant à l'objet mesuré.

Ensuite, l'un des buts est de dimensionner ces éléments correctement par rapport aux points mesurés depuis la station totale. Les familles ont des dimensions prédéfinies pour les objets, mais il ne s'agit pas forcément des dimensions exactes des portes mesurées dans un immeuble. Pour remédier à cela, la programmation va permettre de répondre à ce besoin. Une fois ces objets dimensionnés, il suffit de les positionner dans la maguette numérique à l'aide d'un point spécifique calculé. Pour insérer une porte ou une fenêtre, il faut premièrement trouver le point d'insertion de l'objet. Revit propose de le faire relativement proprement car c'est exactement le même point que si on l'introduisait manuellement. En effet, pour insérer une porte manuellement, il suffit de choisir la porte désirée, de lui introduire ses dimensions si elles n'existent pas, de passer avec la souris sur la ligne en question et de la clipper simplement par rapport à son axe. Ensuite, il est possible de l'ajuster avec des cotations par rapport au mur le plus proche (par exemple). Pour l'introduire automatiquement, il est possible de le faire avec Dynamo, il suffit de lui donner simplement le point de l'axe de la porte au niveau du sol et ceci sans être parfaitement colinéaire car il vient lui-même clipper la porte sur le mur. Donc si les portes de la maguette sont toutes les mêmes, il suffirait de mesurer un point à l'axe de la porte au niveau du sol. Ce qui précède donne un exemple sur les portes mais s'applique de la même manière aux fenêtres et aux ouvertures.



Point d'insertion d'une porte dans Revit



Figure 78: Point d'insertion d'une porte dans Revit vue en plan

Figure 79: point d'insertion d'une porte vue de face (deya-pro.com)

Les portes :

Comme déjà cité, il y a plusieurs types de portes qui se distinguent par la matière (bois, métal, plastique etc.) ou par leur fonction (double portes, porte avec fenêtre, etc.). La codification proposée doit être adaptée pour différencier chaque type de portes. Attention, il ne s'agit pas ici de la dimension mais uniquement du type. Concernant la dimension de la porte, elle est calculée sur la base de trois points. La distance entre les points 1 et 2 retourne la largeur de la porte alors que la distance entre les points 2 et 3 la hauteur, ceci est schématisé ci-dessous :



Figure 80: Principe pour le relevé d'une porte à la station totale

Définition de la codification :

E1 signifie que c'est le deuxième niveau de de l'immeuble tous étages confondus. E0 signifie que c'est le sous-sol s'il devait y en avoir un sinon le rez-de-chaussée.

T1 signifie que c'est le premier type de porte

P1 évoque le n° des pièces de l'étage. Cette porte est au deuxième niveau et elle est dans la pièce 1.

Le PO1 signifie que c'est la porte n° 1 dans la pièce.

Il est important de conserver la logique de l'ordre des mesures, soit les deux points du bas en premier et le 3^{ème} au-dessus du 2^{ème} point.

Codification pour les portes

N° Pt	Х	Y	Ζ	Code
P1				E1T1P1PO1
P2				E1T1P1PO1
P3				E1T1P1PO1

Les fenêtres :

De même que pour les portes, il y a énormément de types différents de fenêtres. Le point d'insertion reste identique : au centre en bas de la fenêtre. Ce point doit là aussi être distingué tout au long du relevé, à travers la codification.





Figure 81: Point d'insertion d'une fenêtre dans Revit vue en plan

Figure 82: point d'insertion d'une fenêtre dans Revit vue de face

Concernant la dimension de la fenêtre, elle est calculée sur la base de 3 points, de la même manière que pour les portes. La distance entre les points 1 et 2 retourne la largeur de la fenêtre alors que la distance entre les points 2 et 3, la hauteur ; ceci est schématisé ci-dessous :



Figure 83: Principe du relevé d'un fenêtre à la station totale

Codification pour les fenêtres

Définition de la codification :

E2 signifie que c'est le troisième niveau de de l'immeuble tous étages confondus. E0 signifie que c'est le sous-sol s'il devait y en avoir un sinon le rez-de-chaussée.

T1 signifie que c'est le premier type de fenêtre.

P1 évoque le n° des pièces de l'étage. Cette fenêtre est au troisième niveau et elle est dans la pièce 1.

Le FE2 signifie que c'est la fenêtre n° 2 dans la pièce.

Il est important de conserver la logique de l'ordre des mesures, soit les deux points du bas en premier et le 3ème au-dessus du 2ème point.

Les ouvertures :

Il n'y a pas de différents types d'ouvertures. Il s'agit simplement d'une ouverture entre deux pièces sans porte ni fenêtre. La codification est donc simplifiée. L'insertion se fait de la même manière que pour les deux éléments précédents :

Point d'insertion d'une ouverture dans Revit



Figure 84: Point d'insertion d'une ouverture dans Revit en plan



N° Pt	Х	Υ	Ζ	Code
P1				E2T1P1FE2
P2				E2T1P1FE2
P3				E2T1P1FE2

Figure 85: Point d'insertion d'une ouverture dans Revit en vue 3D



Figure 86: Principe du relevé d'une ouverture à la station totale

Codification pour les ouvertures

Définition de la codification :

E2 signifie que c'est le troisième niveau de de l'immeuble tous étages confondus. E0 signifie que c'est le sous-sol s'il devait y en avoir un sinon le rez-de-chaussée.

P1 évoque le n° des pièces de l'étage. Cette ouverture est au troisième niveau et elle est dans la pièce 1.

Le OO1 signifie que c'est l'ouverture n° 1 dans la pièce.

Il est important de conserver la logique de l'ordre des mesures, soit les deux points du bas en premier et le 3^{ème} au-dessus du 2^{ème} point.

N° Pt	Х	Υ	Ζ	Code
P1				E2P1001
P2				E2P1001
P3				E2P1001

Notion importante :

Pour tous les éléments présentés dans ce sous-chapitre, il est nécessaire de relever les 3 points P1, P2 et P3 pour les constituer et les insérer dans la maquette. Il est important de ne relever qu'une fois ces éléments afin de ne pas provoquer de doublon. Par exemple, une porte est attachée par ses gonds à une pièce. C'est à cet endroit qu'il faut relever les 3 points. Il ne faut donc pas relever "l'ouverture" dans la pièce attenante. En effet, lorsque l'architecte reprendra la maquette, il va modifier et configurer la taille du mur pour supprimer le mur opposé. La porte attachée à ce mur sera directement et parfaitement ouverte après modification. Pour les maquettes de type maintenance, qui sont utiles à une gérance, il faut définir avant de faire les mesures, si les murs vont être modifiés. Dans le cas contraire, il serait alors peut-être nécessaire de mesurer les points opposés de cette porte, mais en type ouverture. Ceci s'applique également sur les façades extérieures du bâtiment.



Figure 88: Résultat pour une maquette reprise par un architecte, sans mesurer l'ouverture à l'opposé de la porte

Figure 89: Résultat pour une maquette type gérance, avec mesures de l'ouverture à l'opposé de la porte

Avantages et inconvénients de ces méthodes :

Avantages	Inconvénients
La codification de ces 3 éléments reste relativement simple. La codification est similaire pour chaque élément mesuré. Ceci évitant des sources d'erreurs.	Esthétiquement, la maquette ne ressort pas très bien car les éléments ont une certaine épaisseur et ne peuvent pas être insérés en mode feuille de papier, cf. illustration 87.
3 points sont nécessaires pour relever un de ces éléments. A noter qu'il est uniquement nécessaire de relever l'élément dans la pièce où il se situe.	Les murs doivent être parfaitement verticaux afin que les éléments puissent se clipper dessus.
Les éléments sont construits exactement de la bonne dimension et sont affiliés à un type de famille, permettant d'être repris facilement par l'architecte.	
La topologie est respectée avec le système de clippage des éléments.	

6.4. Autres objets

Il reste encore de nombreux objets qui peuvent être relevés et codifiés. Comme expliqué précédemment, ces objets ne sont pas nécessairement programmés. Cependant, il est essentiel de leur attribuer un code afin de pouvoir rechercher facilement leurs coordonnées dans l'ensemble de la liste. Une fois ces coordonnées triées, il est alors possible de les importer dans le logiciel et de construire les éléments manuellement. L'objectif de ce sous-chapitre est de définir une méthode généralisée permettant de développer une suite de codes logiques en fonction des objets à relever.

La codification est relativement libre, cependant, il est important de rester logique et de considérer qu'il est possible de construire certains éléments sans avoir besoin de mesurer tous les points.

Objets ponctuels de taille standard :

Pour les objets ponctuels de taille standard (petits objets simples qui se fixent également sur différentes faces d'une pièce), il est conseillé de relever un seul point en bas, au centre de l'élément. En effet, ces objets sont les plus simples à programmer car il suffit de fixer l'objet sans modifier la taille de l'objet. Par exemple, pour cette prise illustrée, il est nécessaire d'obtenir les coordonnées selon le point rouge.



Figure 90: Mesure d'un élément ponctuel de dimension standard

Le principe de codification reste le même que pour les autres éléments. Il est nécessaire de lui attribuer un étage et un numéro de pièce, de sorte qu'il soit facile de savoir où se situe l'objet mesuré. Parfois, ces objets peuvent avoir différents types, il est donc important d'ajouter à la codification le type correspondant. Enfin, il faut ajouter un acronyme différent de ceux utilisés jusqu'à présent. Reprenons l'exemple de la prise, il serait approprié de lui attribuer le code "PR".

Codification po	ur les ob	ojets	роі	nctu	iels
Définition de la codification :	N° Pt	Х	Υ	Ζ	Code
E2 signifie que c'est le troisième niveau de	P1				E2T1P2XX1
de l'immeuble tous étages					
T1 Le type de la prise					
P1 évoque le n° de pièce de l'étage.					
Le XX1 est l'acronyme à inventer dans le cas de la prise : PR1					

Objets de tailles variables :

Certains objets se fixent également aux faces des murs et peuvent être de taille variable. Il s'agit notamment des objets tels que les radiateurs, les WC, les baignoires ou douches, les tables, etc. Ces objets ne sont pas programmés dans ce travail de Master. En revanche, la codification doit faciliter la recherche des coordonnées mesurées dans l'ensemble du listing pour les importer dans le logiciel et les traiter manuellement. Pour ce genre d'objet à mesurer, il est préférable de prendre également l'épaisseur de l'objet. Il serait donc nécessaire de prendre quatre points au total.

Exemple pour le relevé d'un radiateur :



Figure 91: Mesure d'un objet de taille variable

Il faut ajouter un acronyme différent de ceux utilisés jusqu'à présent. Pour un radiateur, la codification "RA" peut être cohérente.

Codification pour les	s objets	de	taille	es va	ariables
Définition de la codification :	N° Pt	Х	Υ	Ζ	Code
E2 signifie que c'est le troisième niveau de	P1				E2T1P2XX1
de l'immeuble tous étages	P2				E2T1P2XX1
-	P3				E2T1P2XX1
T1 Le type de l'obiet	P4				E2T1P2XX1
P1 évoque le n° de pièce de l'étage.					
Le XX1 est l'acronyme à inventer, dans le cas du radiateur RA1					

Enveloppe du bâtiment :

Le dernier volet aborde les géométries considérées comme difficiles voire impossibles à programmer. Certains éléments ne peuvent tout simplement pas être programmés, ou nécessiteraient peut-être moins de temps de traitement s'ils étaient construits manuellement.

C'est le cas notamment de l'enveloppe du bâtiment. Définir la position du bâtiment en planimétrie est relativement facile, mais cela devient plus complexe en altimétrie. La mesure des angles du bâtiment au niveau du sol ne représente pas l'altitude réelle du bâtiment car ce dernier n'est généralement pas juste posé sur le sol. Ces points ne sont donc pas directement mesurables physiquement sur place et nécessitent un travail manuel avec des recoupements d'informations pour obtenir l'angle recherché. L'illustration ci-dessous démontre ces propos à l'aide d'une coupe d'une maison.



Figure 92: Coupe de WBA Architectures

Il en est de même pour la modélisation de la toiture du bâtiment (faîtes, corniches, éventuelles lucarnes) qui peut s'avérer également très complexe. Il est nécessaire de mesurer tous les points requis pour construire ces éléments. La codification doit alors être adaptée en utilisant des acronymes pour retrouver facilement les coordonnées dans la liste. Par exemple, la toiture pourrait être codifiée avec l'acronyme "TO". Selon la complexité de la toiture, il est également possible de distinguer les parties de la toiture telles que les faîtes, les corniches, les lucarnes, les cheminées, etc.



Figure 93: Principe de relevé de l'enveloppe du bâtiment

Désormais, il n'est plus nécessaire d'inclure l'étage, le type et le numéro de pièce dans la codification. Un simple acronyme attribué à chaque élément facilitera son repérage.

Codification pour quelcon	nque à c	ons	trui	e m	anuellement
Définition de la codification :	N° Pt	Х	Υ	Ζ	Code
	P1				ХХ
Le XX est l'acronyme à inventer	P2				XX
	PN				XX

6.5. Questionnaire des objets à mesurer

Pour faciliter l'échange entre les intervenants dans le cadre d'un mandat, il a été décidé de se diriger vers un questionnaire listant les objets à relever. Ceci vise à faciliter la communication et la clarté des demandes. Il faut savoir qu'un questionnaire permettant d'établir un cahier des charges à cet effet a été réalisé lors d'un cas d'usage disponible sur la plateforme buildingsmart.org (<u>https://ucm.buildingsmart.org/use-case-details/2366/fr</u>) et il est également disponible en annexe A. Le but de ce dernier est le suivant :

Ce cas d'usage vise à expliciter les différentes étapes et échanges lors de la création d'une modélisation BIM d'un bâtiment existant à partir d'un relevé du géomètre (nuages de points, images ...). Le but est de décrire les réflexions/interrogations et de préciser les échanges nécessaires pour que les relevés correspondent bien aux besoins de la modélisation BIM. Un dialogue constructif entre le géomaticien et les personnes en charge de la réalisation de la maquette est ainsi installé.

Ce document est le fruit d'une collaboration entre un bureau d'architecture (CCHE), un bureau de géomètre (HKD Géomatique) et le Professeur HES Bertrand Cannelle du Département EC+G à la HEIG-VD. Il est rédigé de manière excellente et indépendante des instruments utilisés.

Le but de ce sous-chapitre est de proposer un autre questionnaire, cette fois-ci directement lié aux mesures par la station totale et à la géocodification présentée dans ce travail de Master. L'objectif est de faciliter les discussions avec le mandataire en lui offrant des solutions toutes faites. Il lui suffira de cocher les cases correspondant aux éléments qu'il souhaite intégrer dans sa maquette numérique. Ce questionnaire permet ainsi au mandataire de choisir librement les mesures et les éléments qu'il souhaite réaliser lui-même. En se basant sur ces choix, des devis peuvent ensuite être établis relativement facilement.

Il est important de souligner que si le mandataire souhaite un modèle plus complexe que les solutions proposées, il devra alors recourir à la méthode plus classique, qui consiste généralement à effectuer des mesures à l'aide d'un laser scanner.

Le questionnaire est disponible à l'annexe B

Bâtiments adjacents	0
Petite dépendances	0
Terrain (topographie)	0
Mobiliers urbains	0
Réseaux de surface (couvercles, grilles)	0
Couverts	0
Murs	0
Autres :	0
RELEVÉ DU BÂTIMENT	
RELEVÉ DU BĂTIMENT É DES MURS/PLAFONDS/SOLS éléments Mur, Plafonds et Sols sont construits automatiquement à loppé. Ces éléments sont générés en type feuille à papier. Les classifi tions ne sont pas différencier. Toutefois, pour chaque point relevé ur rettant l'identification de ces éléments.	l'aide d'un programme cations par matériaux ou e photo est fournie avec
RELEVÉ DU BĂTIMENT É DES MURS/PLAFONDS/SOLS éléments Mur, Plafonds et Sols sont construits automatiquement à loppé. Ces éléments sont générés en type feuille à papier. Les classifi tions ne sont pas différencier. Toutefois, pour chaque point relevé un rettant l'identification de ces éléments. puhaite les éléments avec un rapport photo	l'aide d'un programme cations par matériaux ou e photo est fournie avec
RELEVÉ DU BÂTIMENT É DES MURS/PLAFONDS/SOLS éléments Mur, Plafonds et Sols sont construits automatiquement à loppé. Ces éléments sont générés en type feuille à papier. Les classifi tions ne sont pas différencier. Toutefois, pour chaque point relevé un nettant l'identification de ces éléments. ouhaite les éléments avec un rapport photo suhaite uniquement les éléments	l'aide d'un programme cations par matériaux ou e photo est fournie avec

Figure 94: Aperçu du questionnaire disponible à l'annexe B

7.1. Géoréférencement

Cette partie est souvent négligée ou mal interprétée par beaucoup d'utilisateurs de données géographiques et pourtant elle a une importance capitale. Le géoréférencement d'une maquette signifie positionner correctement la maquette sur des coordonnées géographiques réelles afin de la situer avec précision dans le monde réel. Il existe différentes possibilités de géoréférencer la maquette. Un guide établi en 2021 par M. Barmettler, M. Holdener et M. Marti vise à montrer aux architectes/planificateurs et aux ingénieurs la nécessité de géoréférencer leur modèle numérique de bâtiment et à expliquer les principes fondamentaux essentiels pour y parvenir. Ce guide est spécifiquement conçu pour les géoréférencements des projets BIM en Suisse. Bien entendu, les formalités et principes de base peuvent être repris pour d'autres pays.

L'introduction au guide est le suivant :

Dans le concept BIM, les données géométriques resp. les coordonnées, exprimées parfois dans différents systèmes de coordonnées, doivent être échangées. Ainsi des géodonnées comme les limites de biens-fonds, des altitudes ou des plans directeurs se réfèrent à un système de coordonnées (national) « déformé ». Les données d'un projet BIM, par contre, se réfèrent souvent à un système de coordonnées cartésien sans déformation. Si ce système de coordonnées est mis en relation avec le système de coordonnées géodésiques supérieur par une transformation, on parle de géoréférencement. Lors d'une telle transformation, lorsque, par exemple, on intègre des géodonnées comme base de planification BIM ou, à l'inverse, lorsqu'on exporte des données du projet BIM vers la réalité du terrain (implantation / pose d'axe), des écarts ou imprécisions peuvent apparaître. L'importance des écarts / imprécisions dépend de différents facteurs :

- du système de coordonnées du projet choisi
- de la longueur et de la hauteur du projet
- *de la position et de l'altitude (m.s.m.) du projet dans la réalité.*

Le guide étant déjà très complet, il n'est pas nécessaire de proposer une deuxième version de ce document. L'ensemble du guide (Guide au "Use Case" géoréférencement (GeoRef) 2021) est disponible sur le lien ci-dessous et disponible en annexe C.

https://ucm.buildingsmart.org/

Il est intéressant d'obtenir également la manière de faire d'un professionnel du BIM. Suite à l'entretien avec Madame Fullana Martin, architecte, le géoréférencement se fait habituellement sur la base d'un plan cadastral fourni par un géomètre, le tout géoréférencé. Ensuite, ils chargent ce plan dans le programme BIM pour modifier le centre du projet à la position du bâtiment. Il est ainsi possible de passer d'un système de coordonnées connu à un système de coordonnées projet. De plus, il existe la possibilité de réaliser une rotation du nord du projet pour obtenir un bâtiment orienté parfaitement horizontalement par rapport à une page. Les valeurs de translations et de rotation sont normalement accessibles.

7.2. Points de référence

Les points de référence sont les repères indispensables sur lesquels la station totale doit se caler. Il est nécessaire d'avoir au moins 3 points de base pour le calage, de préférence avec des orientations différentes. Cela fait partie des règles de l'art des géomètres afin d'obtenir une configuration optimale pour mesurer des points topographiques. Il est évident que ces points de référence doivent être précis les uns par rapport aux autres, car toute imprécision entraînerait des répercussions sur les mesures du bâtiment. Le terme technique pour indiquer cette précision se nomme « précision relative ». Habituellement, le géomètre crée un système de coordonnées arbitraire, comme X=600, Y=200, Z=100, et mesure l'ensemble de ces points dans ce système en mesurant lui-même ces points d'orientation à l'aide de la station totale. En procédant ainsi, la précision relative est généralement inférieure au centimètre pour des bâtiments n'excédant généralement pas plus de 100 mètres de long. À noter qu'il existe également la « précision absolue », qui se réfère au positionnement de l'ensemble des points connus les uns par rapport aux autres (dans le système arbitraire) sur le système de coordonnées final souhaité, comme le système suisse MN95.

Par exemple, l'illustration ci-dessous montre 7 points de base autour de la maison. La station 1 (ST1) s'oriente sur les points de base (PB) 1, 2, 3, 4 et mesure les petits points représentés en rouge sur la maison. La station 2 (ST2), quant à elle, se calibre sur les points de base (PB) 3, 4, 5, 6 et 7 et mesure les petits points verts. Si la précision relative entre les points de base est de l'ordre du centimètre, la différence à craindre entre un petit point vert et un petit point rouge sera également de cet ordre. Si ces points de base ont une précision relative de l'ordre de 3 à 4 centimètres, il y aura probablement des écarts du même ordre de grandeur que cette précision entre les points de différentes couleurs. À noter que si la précision relative entre les points n'est pas suffisamment précise, de l'ordre de 2 à 4 centimètres, il s'agit probablement *de tension engendrée à la suite des différentes stations de mesure réalisées. Pour réguler cet aspect de tension, les géomètres utilisent habituellement la méthode des moindres carrés pour calculer leurs réseaux de points de base par une compensation rigoureuse. La définition suivante pourrait être donnée à cette méthode de calcul :*

Le calcul par moindres carrés est une méthode utilisée pour ajuster une géométrie à un ensemble de points de données de telle manière que la somme des carrés des erreurs entre les points réels et la ligne ajustée soit minimale. En d'autres termes, c'est comme si on essayait de dessiner la meilleure ligne possible à travers un nuage de points pour représenter au mieux les données.

Il est alors important de définir la précision relative avec le mandant avant de procéder aux mesures sur place du bâtiment. Même, s'il est évident qu'une précision relative de l'ordre de 1 centimètre semble cohérente. A noter encore que bien que les mesures puissent être précises au centimètre, la définition des objets à relever peut contenir des variations supérieures à la précision. C'est notamment le cas pour un mur qui présenterait des irrégularités par rapport à un plan parfaitement vertical.

Les techniques de positionnement par satellites courantes, telles que le GNSS RTK, ne sont pas suffisamment précises pour obtenir la précision relative souhaitée, mais conviennent généralement parfaitement pour mesurer les points de référence dans le système final qui permettent le calage de la maquette. Lors de la mesure de ces points de référence, il convient également de prendre en compte ceux qui seront nécessaires pour le calage de l'instrument à l'intérieur du bâtiment. Les petites flèches vertes sur l'illustration ci-dessous représentent le principe à appliquer ; il faut mesurer des points de référence sur toutes les fenêtres qui seront nécessaires lors de l'orientation à l'intérieur du bâtiment. Selon le même principe, il serait judicieux, dans l'exemple donné, d'ouvrir la porte et les fenêtres du rez-de-chaussée afin de mesurer des points de calage supplémentaires plus loin dans les pièces. Comme mentionné précédemment, un minimum de 3 points est nécessaire pour un calage optimal de l'instrument et il n'est pas toujours facile de les obtenir dans la configuration idéale.



Figure 95: Principes de mesures des points de calage sur une maison

Un exemple d'installation de points de référence à l'intérieur du bâtiment est illustré ci-dessous. La Station 1 (ST1) est placée à l'extérieur et s'oriente sur les points de base PB1 à PB3. Les flèches vertes indiquent les points de référence mesurés à l'intérieur du bâtiment à partir de la ST1. En matérialisant déjà trois points bien répartis pour les deux pièces au bas de l'image, les stations 2 et 3 peuvent être calées. À partir de ces dernières, les mesures des pièces et des objets peuvent être effectuées. Cependant, il est encore nécessaire de placer des points de référence pour les pièces suivantes, représentées en orange et en bleu sur le schéma. Ainsi de suite, les stations peuvent être maintenues dans un système arbitraire homogène pour l'ensemble du bâtiment. À noter que c'est avec ces répétitions que des tensions peuvent survenir. Plus il est possible de se rattacher rapidement avec un point de référence mesuré depuis l'extérieur, moins il y aura de tension.



Figure 96: Principe pour la pose de points de base à l'intérieur du bâtiment

7.3. Déplacements

Les stations totales sont utilisées pour mesurer des points topographiques en 3D une fois que la station est calée, comme démontré précédemment. Ce chapitre explique les techniques de mesure utilisées avec la station totale, qui permettent de mesurer des points qui pourraient être obstrués mais qui sont indispensables pour les programmes élaborés. Dans un bâtiment, il est facile d'imaginer que du mobilier puisse masquer le point nécessaire pour appliquer la méthode choisie. En général, il existe trois catégories de déplacements possibles :

- La hauteur du signal (S)
- Le déplacement longitudinal (DM1)
- Le déplacement perpendiculaire (DM2)

La hauteur du signal :

Les stations totales offrent la possibilité d'ajuster la hauteur des points mesurés. Pour ce faire, il est possible d'entrer directement dans l'instrument une hauteur connue, qui sera utilisée pour calculer la position en 3D en ajustant automatiquement la valeur altimétrique. Dans les pratiques courantes des géomètres, les hauteurs sont généralement utilisées pour mesurer un point au sol. Par exemple, lorsqu'un point est relevé à l'aide d'une canne à prisme, sa hauteur est souvent de 1,60 mètres depuis l'axe du prisme jusqu'au sol, si la verticalisation est correcte. En entrant cette valeur de 1,60 mètres, le point calculé sera positionné 1,60 mètres plus bas que le point mesuré. L'illustration ci-dessous explique ce principe de manière plus claire :



Figure 97: Principe de hauteur du signal



Cette technique peut se révéler intéressante et extrêmement utile dans le domaine du bâtiment. Dans l'exemple illustré à gauche se trouve une baignoire d'angle où il n'est pas possible de mesurer directement l'angle inférieur de la pièce. Cependant, il est possible de mesurer le point à une position plus élevée (point à mesurer) et en introduisant une cote de hauteur, mesurée à l'aide d'un double mètre, dans l'instrument de 0.56 m. Ainsi, le point calculé par l'instrument est l'angle inférieur de la pièce. Cette approche peut également être appliquée à de nombreux autres objets dans le cadre des relevés en milieu bâti.

Figure 98: Mesure d'un point au sol avec introduction d'une hauteur de signal positive



Ce deuxième exemple repose sur le même principe. L'angle de la pièce au niveau du plafond n'est pas directement mesurable en raison d'un obstacle. Il est donc nécessaire, dans ce cas, d'introduire une valeur négative de -0.37 m afin que l'instrument calcule le point en tenant compte de la hauteur spécifiée. Ce scénario peut également se produire dans des cuisines d'angle ou lorsqu'il y a une armoire murale, par exemple.

Figure 99: Mesure d'un point au plafond avec introduction d'une hauteur de signal négative

Le déplacement longitudinal :

Un autre type de déplacement possible est le déplacement longitudinal. Dans ce cas, il s'agit de jouer avec la distance par rapport à l'axe de visée de la station totale. Une option consiste à introduire une valeur positive, ce qui entraînera le calcul du point à une distance plus éloignée. En revanche, en introduisant une valeur négative, le point calculé sera plus proche. Il est important de noter que lorsqu'un tel déplacement est effectué, l'altitude du point est conservée à l'endroit où il a été mesuré. Il est donc essentiel que le point mesuré soit parfaitement horizontal avec le point réellement recherché, ou alors il faut introduire une correction de hauteur (S) pour prendre également en compte l'aspect altimétrique de ce point.



Figure 100: Principe du déplacement longitudinal

Dans le contexte du relevé d'un bâtiment, cette méthode peut être appliquée à l'exemple suivant. Dans le cas d'une cuisine qui n'est pas fermée jusqu'au plafond, il est essentiel de positionner le double mètre parfaitement dans l'axe de visée de la station totale et de mesurer la distance depuis l'angle du mur jusqu'au point qu'il est possible de mesurer. Une mesure laser sur le double mètre peut être une solution pratique. Cependant, il est important d'introduire une valeur de hauteur négative sur le double mètre afin d'obtenir l'angle du mur à la bonne hauteur cette fois-ci.



Figure 101: Déplacement longitudinal avec double mètre dans l'axe de visée



Figure 102: Mesure de hauteur du signal négative

Le déplacement latéral :

Le dernier type de déplacement concerne la mesure perpendiculaire au point souhaité. Cette méthode est généralement utilisée lorsqu'il y a un obstacle entre le point à mesurer et l'instrument. En créant une ligne perpendiculaire entre l'axe de visée et le prisme déplacé, l'instrument peut corriger les coordonnées. Le schéma ci-dessous illustre cette méthode de manière claire :



Figure 103: Principe du déplacement latéral
Il est également important de corriger la hauteur, car la situation altimétrique du point mesuré peut différer de celle du point souhaité. Idéalement, le déplacement devrait s'effectuer horizontalement afin d'éviter cette étape supplémentaire.



Figure 104: Mesure d'un point qui doit être déplacé latéralement à droite de la valeur mesurée sur le double mètre

Il est important de noter que l'ensemble de ces déplacements peut être utilisé simultanément pour n'importe quel point. Il est essentiel que l'opérateur cherche à chaque fois à mesurer le point requis pour les méthodes de codification décrites dans ce travail. Il est également à souligner que limiter au maximum l'utilisation de ces méthodes de déplacement permettrait de réduire les éventuelles erreurs de transcription et d'interprétation des distances nécessaires. Idéalement, tous les points devraient être mesurés sans avoir recours à ces déplacements supplémentaires.

7.4. Mode d'emploi de codification



MANUEL DES CODIFICATIONS

Particularités:

- Pièce de type parallélépipède rectangle
- Peut construire un angle non mesurable
- Au moins une pièce par étage doit être mesurée avec cette méthode

Codifications:

N° Pt	х	Y	z	Code
P1 à P3				EXM1PXF1
P4 à P6				EXM1PXF2
P7 à P9				EXM1PXF3
P10 à P12				E <mark>X</mark> M1P <mark>X</mark> F4
P13 à P15				EXM1PXP
P16 à P18				EXM1PXS

Particularités:

- Le nombre de face de la pièce est illimité
- Le premier point doit être celui du sol
- Ne peut pas construire un angle non mesurable

MÉTHODE 2

 Les points doivent être mesurés dans le sens horaire

Codifications:

N° Pt	х	Y	z	Code
P1				E <mark>X</mark> M2P <mark>X</mark> P
P2				E <mark>X</mark> M2P <mark>X</mark> P
P3				E <mark>X</mark> M2P <mark>X</mark> P
P4				E <mark>X</mark> M2P <mark>X</mark> P
PN				EXM2PXP

Remarques:

- Les éléments en jaune doivent être modifiés à chaque nouvelle pièce
 - Le premier X correspond au niveau de l'étage, 0 étant le niveau le plus bas du bâtiment
 Le deuxième X représente le n° de pièce de l'étage



LES PORTES

Particularités:

- Le type de porte doit être observé, ceci comprend uniquement le type pas les dimensions
- A relever la porte uniquement dans la pièce où se situent les gonds

Codifications:

N° Pt	х	Y	z	Code			
P1				EXTXPXPOX			
P2				EXTXPXPOX			
P3				EXTXPXPOX			

Remarques:

- Les éléments en jaune doivent être modifiés à chaque nouvelle porte
 - Le premier X correspond au niveau de l'étage, 0 étant le niveau le plus bas du bâtiment
 - Le deuxième X représente le type de la porte (métal, bois, simple porte, double portes...)
 - Le troisième X représente le n° de pièce de l'étage
 - Le quatrième X signifie le n° la porte à l'intérieur de la pièce

LES FENÊTRES



Particularités:

- Le type de fenêtre doit être observé, ceci comprend uniquement le type pas les dimensions
 A relever la fenêtre uniquement dans la pièce où
- elle est attachée

Codifications:

N° Pt	х	Y	z	Code
P1				EXTXPXFEX
P2				EXTXPXFEX
P3				EXTXPXFEX

Remarques:

- Les éléments en jaune doivent être modifiés à chaque nouvelle fenêtre

- Le premier X correspond au niveau de l'étage, 0 étant le niveau le plus bas du bâtiment
- Le deuxième X représente le type de la fenêtre (métal, bois, 1 ventail, 2 ventaux...)
- Le troisième X représente le n° de pièce de l'étage
- Le quatrième X signifie le n° la fenêtre à l'intérieur de la pièce



LES OUVERTURES

Particularités:

- Le type d'ouverture n'a pas de type
- A relever que d'un coté. De préférence où il y a le plus d'éléments mesurés

Codifications:

N° Pt	х	Y	z	Code
P1				EXPXOOX
P2				EXPXOOX
P3				EXPXOOX

Remarques:

- Les éléments en jaune doivent être modifiés à chaque nouvelle ouverture
 - Le premier X correspond au niveau de l'étage, 0 étant le niveau le plus bas du bâtiment
 - Le deuxième X représente le n° de pièce de l'étage
 - Le troisième X signifie le n° de l'ouverture à l'intérieur de la pièce



AUTRES OBJETS

Objets de tailles variables



Particularités:

- Objets de taille variable, mesurer 4 points
- Le type de l'objet doit être observé

Codifications:

N° Pt	x	Y	Z	Code	
P1				EXTXPXXX1	
P2				EXTXPXXX1	
P3				EXTXPXXX1	
P4				E <mark>XTXPXXX</mark> 1	

Remarques:

- Les éléments en jaune doivent être modifiés à chaque nouvelle autre objet
 - Le premier X correspond au niveau de l'étage, 0 étant le niveau le plus bas du bâtiment
 - Le deuxième X représente le type de l'objet
 - Le troisième X représente le n° de pièce de l'étage
 - Le quatrième et cinquième l'acronyme de l'objet



Particularité:

 Définir l'acronyme pour chaque élément de l'enveloppe du bâtiment

Codifications:

N° Pt	Х	Y	Ζ	Code
P1				XX
P2				xx
PN				XX

Remarques:

Les éléments en jaune doivent être modifiés à chaque nouvelle objet de l'enveloppe du bâtiment - Le premier et deuxième est l'acronyme de l'objet

Ce mode d'emploi se trouve également à l'annexe D.

8.1. Méthode d'exportation

Une fois toutes les mesures effectuées, il est nécessaire d'exporter les données de la station totale pour la suite du traitement. De nos jours, cet instrument permet d'extraire des données dans de nombreux formats différents. Il est également possible de créer son propre format d'export. Dans le cadre de ce travail de Master, il n'est pas nécessaire de développer un nouveau format. Les méthodes de calcul traditionnelles du géomètre seront suffisantes pour obtenir les coordonnées des points avec le format requis pour la programmation.

Plus concrètement, l'exportation des données consiste à récupérer les mesures brutes prises avec l'instrument. Par mesure, on entend la direction horizontale (Hz), l'angle vertical (Vz) et la mesure de la distance inclinée (Di).



Figure 105: Mesures de la direction horizontale, de la distance inclinée et de l'ange vertical

Comme évoqué dans le précédent chapitre, si la précision relative n'est pas obtenue lors des mesures, il est d'une importance capitale d'effectuer un calcul méticuleux pour corriger toutes les distorsions. Si, à contrario, la précision obtenue est suffisante, les coordonnées calculées depuis la station totale peuvent être exportées en l'état et être utilisées directement.

Dans le cas où des distorsions apparaissent, il devient impératif d'effectuer un calcul précis des coordonnées avant de générer la maquette en utilisant les logiciels appropriés. Grâce au logiciel LTOP, qui permet entre autres la compensation des mesures terrestres, il est possible de calculer les coordonnées en lui fournissant les mesures et en introduisant les erreurs moyennes pour chaque mesure. Le programme effectuera ensuite le calcul en utilisant la méthode des moindres carrés pour obtenir la meilleure solution possible. Cette étape n'est pas plus détaillée car elle reste un aspect spécifique au géomètre. En fin de compte, un jeu de coordonnées tridimensionnelles complet devrait être compensé avec une précision recherchée au centimètre.

117	0 161	23	2538825.00001183936.2070	430.4600
117	0 164	23	2539462.49601184932.7380	486.9058
117	0 167	23	2540034.01001185338.6000	469.5774
117	0 178	23	2538486.20601184165.9690	488.6800
117	0 187	23	2538433.26401184383.9000	477.3531
117	0 237	23	2538702.69201184644.4160	503.9403
117	0 284	23	2539169.00901184917.8500	493.1433
117	0 297	23	2540969.41801185975.9190	451.8895

Figure 106: Format de sortie des coordonnées compensées dans LTOP

8.2. Fichier étudié pour les outils programmés

Maintenant que la liste des coordonnées sont calculées selon la précision souhaitée, il est nécessaire d'adapter ce listing de coordonnées dans le format retenus pour les outils programmés durant ce travail de Master. Le format étudié et utilisable facilement par le logiciel Dynamo est le fichier Excel disposant de nœuds facilement exploitables. Pour tous les outils développés, le format Excel sera le format obligatoire.

Dans ce travail, il y a plusieurs outils qui ont été entrevus à la suite du chapitre sur la géocodification, il y a :

- L'outil pour les pièces
- L'outil pour les portes, fenêtres et ouvertures
- L'outil pour les objets ponctuels

Dans le prochain chapitre, il sera expliqué également d'autres outils qui seront nécessaire à l'ensemble du processus d'élaboration et de contrôle de la maquette à savoir :

- Un outil permettant de contrôler visuellement les éléments générés dans la maquette
- Un outil permettant de générer un rapport photos avec l'ensemble des images mesurés par la station totale
- Un outil permettant de générer des petites sphères sur tous les points mesurés par la station total avec indication des images correspondant au rapport photos

De plus, pour tous les éléments à construire manuellement, il est également nécessaire de passer par un fichier Excel pour obtenir un fichier CSV des coordonnées. Ce fichier est ensuite transformé en nuage de points et finalement inséré dans le logiciel Revit pour la construction manuelle des éléments. Tous ces outils utilisent des encolonnements et des informations différentes. Il semble essentiel d'uniformiser l'ensemble des données dans un fichier Excel unique en début de traitement. De cette manière, la redondance entre les fichiers est évitée et, si une erreur devait être constatée plus tard dans la chaîne de traitement, ce fichier, appelé « de base », serait alors modifié pour remplacer les sous-fichiers qui en découleront.

L'ordonnancement du fichier Excel de base est proposé selon le tableau ci-dessous. A noter qu'il est impératif de prendre connaissance des détails des programmes dans le chapitre suivant pour savoir comment remplir chaque colonne de ce fichier Excel :

Α	В	С	D	Е	F	G	н
Texte	N° de	N° du	Coordonnée	Coordonnée	Hauteur	Cácacdification	Remarques /
Image	station	point	E	Ν	Н	Geocodification	commentaires

L'élaboration manuelle du fichier doit être réalisée de manière rigoureuse ; il suffit de le faire une fois proprement. Une fois ce fichier terminé, il est possible de préparer les sous-fichiers Excel qui seront nécessaires pour chaque outil. L'illustration ci-dessous représente le fichier de base découlant sur tous les autres sous-fichiers. Cette illustration est figurative, les détails pour remplir le fichier sont mentionnés dans les outils correspondants. À noter que seul l'outil générant le rapport photos peut directement utiliser le fichier de base. Pour tous les autres, des sous-fichiers doivent être générés.

Concernant la construction manuelle d'éléments, il est nécessaire de reprendre le fichier Excel des portes, fenêtres, ouvertures, objets ponctuels, construction manuelle, de trier les éléments à créer par codification et d'enregistrer les fichiers .CSV pour chacune des géocodifications (balcons, toiture, façade, etc.).

	А	В	С	D	E	F	G	Н	I.
446	IMG0459	ST20	9077	614.388	216.829	14.759	E2T5P12PO1		
447	IMG0460	ST20	9079	610.577	216.774	12.673		Point de référ	ence
448	IMG0461	ST20	9078	607.138	217.363	14.389		Point de référ	ence
449	IMG0462	ST20	9080	614.599	217.83	13.755	E2T1P12PR1		
450		ST21	9074	614.416	215.002	12.682			
451	IMG0463	ST21	9081	615.548	214.389	12.681	E2M2P13P		

Û

Sous fichiers

c

10.563

9.91 12.763 12.759

R

185.081

208.728 210.27

Δ

2 3 619.389

614.452

611.074

615.105

	A	В	С	D				
511	610.217	218.431	14.112					
512	611.267	222.302	12.674	E2M2P17P				
513	610.967	216.336	15.092	E2M2P17P				
514	609.689	217.601	15.086	E2M2P17P				
- Outil pour générer les pièces								

- Outil pour générer les portes, fenêtres,

210.155 - Outil des éléments sphériques avec information sur le n° d'image

D 12.379 43 ST50 623.211 215.363 44 ST50 45 ST50 622.292 622.345 214.595 214.627 12.375 11.043 46 ST50 623.23 216.547 11.045 - Outil pour le contrôle visuel des

В

C

éléments générés

А

ouvertures et objets ponctuels - Construction manuelle

П

	47
1	606.712,210.738,17.403
2	606.715,210.731,9.943
3	626.698,210.264,17.344
4	626.733,210.25,9.969

	А	В	С	D	E	F	G	н	1
446	IMG0459	ST20	9077	614.388	216.829	14.759	E2T5P12PO1		
447	IMG0460	ST20	9079	610.577	216.774	12.673		Point de référ	ence
448	IMG0461	ST20	9078	607.138	217.363	14.389		Point de référ	ence
449	IMG0462	ST20	9080	614.599	217.83	13.755	E2T1P12PR1		
-	Outil po	ur établisse	ement du r	apport p	hoto (Ficl	hier Exce	l de base)	

D

- Etablissement du fichier CSV pour nuage de points

Figure 107: Fichier de base Excel en fichiers personnalisés pour les programmes Dynamo

Ce chapitre aborde l'ensemble des outils développés sur le logiciel de programmation Dynamo de Revit. Sur la base des géocodifications présentées au chapitre 6, des outils ont été élaborés pour permettre de construire automatiquement des éléments Revit. La maquette prend forme en actionnant ces outils les uns après les autres. Il faut cependant respecter un certain ordre logique. Une fenêtre ne peut pas être construite sans les murs par exemple. Ce chapitre aborde donc l'ensemble des schémas de calculs Phyton sur la base de la programmation visuelle de Dynamo Revit.

9.1.Les pièces

Comme déjà évoqué, deux méthodes de géocodification ont été développées pour la construction des pièces d'un bâtiment :

- Méthode par intersection de plans
- Méthode par translation verticale

Il faut maintenant programmer ces méthodes pour les transformer en outils permettant de générer les éléments de la maquette numérique. Dans un premier temps, ce sous-chapitre aborde les généralités communes entre les deux solutions. Par la suite, les spécifications de chaque outil sont expliquées. A noter que le programme visuel généré pour l'outil n° 1 (Intersection de plans) est expliqué en détails à l'annexe E. De même que pour l'outil n° 2 (translation verticale) à l'annexe F. Il est important de signaler que l'outil n° 1 a fait l'objet d'une grande précision sur les nœuds utilisés dans son annexe. Les autres programmes ont également été décrits, mais avec moins de précision sur les nœuds car il y aurait trop de redondance.

Dans un premier temps, comme expliqué précédemment, l'ensemble des coordonnées se situe initialement dans un fichier Excel de base. Il faut donc créer un sous-fichier Excel pour cette partie selon le tableau ci-dessous. Le fichier contient les coordonnées de tous les points et de la géocodification correspondante. Il est important de noter que certains points n'auront pas de codification, comme les points de référence ou les stations, par exemple. Il est également possible de leur introduire durant le levé un acronyme "PB" et "ST" permettant de les reconnaître plus facilement. Toutefois, ils ne seront pas utilisés par cet outil.

Α	В	С	D
Coordonnée	Coordonnée	Hauteur	Géocodification
E	N	H	

Une fois le sous-fichier Excel préparé, il est possible de lancer l'outil permettant de générer les pièces. L'ensemble des étapes de programmation dans Dynamo sont les suivantes :

1) Connexion du fichier Excel avec Dynamo et création de listes de coordonnées par méthode

Avec différents nœuds programmés dans Dynamo, il est possible d'importer le texte du fichier Excel directement (les nombres sont également importés en tant que texte).

Une fois la connexion avec le fichier Excel établie, les textes sont contenus dans Dynamo ; les coordonnées et les géocodifications peuvent être appelées par de la programmation.

La première étape est de réaliser une opération de filtrage permettant de ressortir uniquement les coordonnées selon la méthode à appliquer.

Il est donc nécessaire de sélectionner uniquement les textes propres pour chaque méthode. A noter que les recherches s'effectuent par ligne du fichier Excel. Ainsi, en recherchant par exemple "E1M1", il sera alors possible de lister des lignes du fichier Excel comprenant ce texte. La liste recherchée comprendra donc uniquement les deux lignes en rouges pour la méthode 1 et l'étage n° 1 dans l'illustration ci-dessous :

5999.152	1999.824	100.003 E1M1P1B
5995.871	2001.893	100.003 E1M1P1B
6000.022	2001.753	99.996 E1M2P2P
6000.849	2002.53	102.458 E1M2P2P
6000.649	2000.052	102.449 E1M2P2P

Figure 108: Liste de coordonnées Excel, la recherche dans Dynamo s'effectue par ligne selon le texte recherché

9.1.1. Outil 1 : par intersections de plans

Le flux de travail suivant a été mis en place pour la programmation de l'outil 1. A savoir que la puce n° 1 se situe dans le chapitre 9.1 introductif.



Pour rappel, la codification élaborée pour la méthode par intersection de plans nécessite de mesurer 3 points par face (F1 à F4) et 3 points sur le plafond (P) et le sol (S) avec les codes suivants :

N° Pt	Х	Υ	Ζ	Code
P1 à P3				EM1P1F1
P4 à P6				E1M1P1F2
P7 à P9				E1M1P1F3
P10 à P12				E1M1P1F4
P13 à P15				E1M1P1P
P16 à P18				E1M1P1S

2) Filtre des coordonnées par plans mesurés

Sur la base de la liste comprenant toutes les coordonnées pour la méthode 1 obtenue au souschapitre 9.1, il reste encore à filtrer les données qu'elle comporte pour obtenir les coordonnées de chaque pièce. Pour ce faire, il a été nécessaire de passer par une liste comprenant toutes les solutions de géocodifications possibles pour les pièces. Cette liste de texte a été créée dans Dynamo et il a été décidé de générer le code de 100 pièces par étage, ce chiffre est bien entendu adaptable. Le but de cette nouvelle liste est d'être comparée à la liste de coordonnées de la Méthode 1 permettant ainsi de ressortir uniquement les éléments correspondants.







Pour finir, il est nécessaire de réaliser encore des filtres pour obtenir les 3 points fondamentaux pour créer chaque plan, soit les 4 faces des murs, le sol et le plafond.

En recherchant simplement la fin de la codification, soit F1, F2, F3, F4, S, P avec 6 filtres en parallèle, il est ainsi possible d'obtenir 6 nouvelles listes comprenant les 3 points par plans.



3) Création des points

Il faut créer des points selon les listes créées précédemment. Dynamo a un ensemble de fonctions qui permettent de le faire simplement en transférant les composants X, Y et Z des coordonnées dans un nœud permettant de créer les points. Finalement, le résultat est le suivant pour l'exemple d'une pièce.



Figure 109: Les 18 points d'une pièce construits dans Dynamo, chaque couleur correspond au 3 points d'une face

4) Construction des plans

Les points étant maintenant générés par faces, il est donc possible de construire des plans permettant de créer une boîte fermée. Les phases suivantes ont été programmées :



5) Intersections des plans

Les 6 plans étant obtenus, la méthode doit intersecter les plans entre eux. Il n'y a à priori pas de moyen de ressortir directement les 6 faces de l'enveloppe de la géométrie interne. Il a été nécessaire de passer par plusieurs intersections géométriques.

La solution retenue est la suivante :

L'intersection entre deux plans permet d'obtenir les lignes de croisement entre les plans.



Figure 113: l'intersection des plans entre eux

6) Intersections des lignes avec les plans

Ensuite, il faut intersecter ces lignes avec uniquement les surfaces des plans du sol et du plafond pour obtenir cette fois-ci directement les points de la pièce. L'illustration ci-dessous représente l'intersection de l'ensemble des lignes avec les 2 surfaces, ainsi que les 8 points représentant la pièce sont désormais connus :



Figure 114: Intersection des lignes de coupes avec les surfaces des plans du sol et du plafond



Figure 115: les 8 points forment la pièce suite aux intersections (en rouge le plafond, en violet le sol)

7) Ajustage altimétrique des points des plafonds

A ce stade, il est nécessaire d'ajuster l'altimétrie des points du plafond. A savoir que les éléments Revit ne peuvent être créés que s'ils sont verticaux ou horizontaux. L'idée a été de décomposer les coordonnées des points des plafonds, d'en faire une moyenne pour la composante altimétrique Z et de reconstituer les 4 points avec cette altitude moyenne. L'application de cet ajustage permet d'avoir des plafonds avec des hauteurs différentes sur tout l'étage. Donc, il se peut que deux plafonds sensiblement à la même hauteur peuvent avoir 1 ou 2 millimètres de différence. A noter qu'il est aussi possible d'ajouter un élément au programme permettant d'unifier l'ensemble des plafonds de l'étage à une hauteur similaire.

8) Construction des surfaces plafonds

À ce stade, il est essentiel de noter que le programme dispose de 4 points pour définir le plafond et que l'objectif est de créer un rectangle en utilisant ces 4 point. Lors du calcul de ces points, leur ordre n'est pas connu à l'avance et ne peut pas être anticipé. Par exemple, en reliant les points dans l'ordre d'arrivée, ils peuvent former un polygone de forme "rectangulaire", mais ils peuvent également créer un polygone avec une intersection en son centre :





La solution a été de rechercher un moyen de modifier l'ordre d'arrivée de ces 4 points. Ceci est facilement réalisable en Python mais il faut au préalable se poser la question sur le nombre de solutions possibles avant de trouver une solution correcte. En modifiant l'ordre d'arrivée des 3 derniers points, il peut n'y avoir que 2 solutions formant un rectangle (à gauche) et 4 solutions avec une intersection (au milieu et à droite) selon l'illustration ci-dessous :



Figure 116: Construction d'un polygone par 4 points en modifiant la position des 3 derniers points de la liste Pour ce faire, le programme calcule 5 solutions différentes. Ainsi, il y aura forcément une ou deux solutions possibles. L'ensemble de ces 5 tests est alors compilé dans une nouvelle liste. Si la forme générée ne dispose pas d'intersection, elle est simplement implémentée dans cette liste.

9) Filtre des polygones à double

Comme il se peut que deux solutions soient trouvées, il est nécessaire de trier les polygones à double. Il n'y a pas de fonction permettant de réaliser cette opération directement. Pour ce faire, l'idée est de calculer les distances les plus courtes entre un point quelconque et les polygones. Ainsi, si la longueur est exactement la même cela signifie que c'est un polygone à double et il peut être supprimé. A noter que la distance se calcule avec 11 décimales après la virgule dans Dynamo, il n'y a alors aucune chance d'obtenir la même valeur pour 2 polygones différents.



Figure 117: Suppression des polygones à double par les calculs de distance avec un point commun

10) Génération des éléments Revit type plafond

Les surfaces géométriques des plafonds étant acquises, il est maintenant nécessaire de générer les éléments plafonds dans Revit. Il existe un nœud permettant de le faire dans Dynamo. Il est cependant nécessaire de lui donner les 3 informations ci-dessous :

- Le type d'élément à importer
- Le niveau auquel importer l'objet
- Une géométrie de type Curve

Elément à importer :

Il faut savoir que dans Revit, il est nécessaire d'importer les plafonds avec des éléments de type sol, car les plafonds sont premièrement directement importés 2.60 m au-dessus du sol réel ce qui crée un défaut dans la maquette. Deuxièmement, à la suite de l'entretien avec l'architecte, il est préférable de donner un type sol au plafond ainsi la différence entre le sol de l'étage supérieur et le plafond créé représente l'épaisseur réelle. L'architecte reprendra ensuite la main pour définir proprement l'ensemble des couches et des sous plafonds éventuels.

Dans Revit, il faut configurer les éléments sols de type feuille. Pour ce faire, dans les paramètres type des sols, il faut en dupliquer un et lui attribuer l'épaisseur minimum possible, soit 0.0008 mètre. Cet élément peut ensuite être appelé par Dynamo pour la génération des plafonds. A savoir que ce même type d'éléments sera également appelé pour les sols.

nes					
Fonction	Matériau	Epaisseur	Retournements	Matériau structurel	Variable
Limite de la couche pri	Couches au-dessus	0.0000			
Porteur/Ossature [1]	Maçonnerie - Béton	0.0008		\checkmark	
Limite de la couche pri	Couches en dessous	0.0000			
	Fonction Limite de la couche pri Porteur/Ossature [1] Limite de la couche pri	Fonction Matériau Limite de la couche pri Couches au-dessus Porteur/Ossature [1] Maçonnerie - Béton Limite de la couche pri Couches en dessous	Fonction Matériau Epaisseur Limite de la couche pri Couches au-dessus 0.0000 Porteur/Ossature [1] Maçonnerie - Béton 0.0008 Limite de la couche pri Couches en dessous 0.0000	Fonction Matériau Epaisseur Retournements Limite de la couche pri Couches au-dessus 0.0000 Porteur/Ossature [1] Maçonnerie - Béton 0.0008 Limite de la couche pri Couches en dessous 0.0000	Fonction Matériau Epaisseur Retournements Matériau structurel Limite de la couche pri Porteur/Ossature [1] Maçonnerie - Béton 0.0008 Image: Couches and the second seco

Figure 118: Epaisseur de la dalle au minimum dans Revit

Le niveau auquel importer l'objet :

Ce niveau est simplement repris de l'altitude moyenne des 4 points du plafond.

Une géométrie de type Curve :

Un nœud Dynamo permet de passer d'un polygone à une géométrie de type curve, ce qui signifie une forme qui n'est pas parfaitement droite, mais plutôt courbée ou sinueuse. Dans tous les cas, en utilisant ce nœud, il est possible d'obtenir une polyligne sans courbe. Cet objet est ensuite utilisé pour la création du plafond.

L'illustration ci-dessous démontre la création de deux éléments de type sol pour la construction des plafonds dans Revit:



Figure 119: Construction de deux plafonds dans Revit avec un type sol

11) Construction du sol

La construction du sol va reprendre en partie l'outil n° 2 (du sous-chapitre 9.1.2). En effet, à l'aide de la programmation il est possible de réaliser une translation verticale de la distance du plafond par rapport au barycentre calculé sur la base de 4 points du sol. A noter qu'un seul niveau est calculé pour tous les sols d'un étage avec l'ensemble des points mesurés au sol. Finalement, les barycentres de chaque pièce ont leurs propres composantes X et Y issues de la moyenne de 4 points au niveau de l'étage. Il est ensuite possible de calculer les distances perpendiculaires de ce barycentre aux plafonds. A noter, il est également possible de créer les sols avec différents niveaux en ajoutant un nœud dans la boucle de la programmation. Le principe est illustré sur l'image ci-dessous :



Figure 120: Calculs des distances sous plafonds par rapport au barycentre de la pièce

12) Génération des éléments Revit type sol

Ce point est réalisé selon le même principe que pour les plafonds. La géométrie utilisée est celle précédemment translatée, le niveau est le niveau général de l'étage et le type d'élément est le même que celui introduit pour le plafond. Les sols sont ainsi construits en gris dans l'image ci-dessous :



Figure 121: les éléments sols et plafonds sont représentés dans Revit

13) Génération des éléments Revit type mur

Pour finir, il ne reste plus qu'à créer les éléments de type mur. Une fonction permet également de le faire facilement sur Dynamo. Pour fonctionner le nœud à besoin :

- Du type d'élément à importer
- Du niveau du sol et des plafonds
- Une géométrie de type Curve au niveau du sol

L'élément à importer de type mur doit être également créer dans Revit avec une épaisseur de 0.0008m. Ensuite le niveau du sol, des plafonds et les géométries sont déjà connus, il suffit de les reprendre.



Figure 122: 2 pièces générées dans Revit par l'outil 1

Ce schéma représente l'ensemble des nœuds Dynamo, illustrant ainsi l'outil par des intersections de plans. L'ensemble de ces nœuds est décrit dans l'annexe E.



Figure 123: Représentation des nœuds du programme visuel, par intersections de plans élaborés sur Dynamo

9.1.2. Outil 2 : par translation verticale

Le flux de travail suivant a été mis en place pour la programmation de l'outil 2. A savoir que la puce n° 1 se situe dans le chapitre 9.1 introductif.



Pour rappel, la codification élaborée pour la méthode par translation verticale, il est nécessaire de mesurer les points du plafond et un point au sol. Ci-dessous le point P1 a été mesuré au sol et les points P2 à P9 aux intersections entres les murs et le plafond dans un ordre horaire. Par déduction, cette pièce comprend 8 faces de mur dans l'exemple ci-dessous :

N° Pt	Х	Υ	Ζ	Code
P1				E1M2P2P / mesuré au sol
P2				E1M2P2P
P3				E1M2P2P
P4				E1M2P2P
P5				E1M2P2P
P6				E1M2P2P
P7				E1M2P2P
P8				E1M2P2P
P9				E1M2P2P

La programmation de cet outil est un peu redondante par rapport à l'outil n° 1. Des phases de filtrages d'informations et d'opérations de translations y sont également programmées. Toutefois, la méthode de mesure n'est pas la même. Il est alors conseillé de lire l'outil 1 avant le 2.

2) Filtre des points par le code

La première puce permettait de filtrer toutes les coordonnées de la méthode 1 et 2. Maintenant, qu'il y a à disposition une liste comprenant toutes les coordonnées pour la méthode 2, il reste à filtrer cette liste pour obtenir les coordonnées pour chaque pièce.

Comme pour la puce n° 2 de la méthode 1, le programme réalise exactement la même recherche par éléments correspondants entre les deux listes. Ainsi, le programme génère des listes comprenant les coordonnées de chaque pièce. L'illustration ci-dessous synthétise ce concept :

Liste des coordonnées de la méthode M2



Liste crée comprenant toutes les solutions des

3) Création des points

Le programme est configuré pour que le premier point de la liste des coordonnées d'une pièce soit le point du sol. La solution programmée a été de splitter cette liste et de créer ainsi deux groupes distincts comprenant d'une part les coordonnées des points du sol et d'autre part celles des plafonds. La phase de création des points par les composantes X, Y et Z est ensuite réalisée.

A noter que les hauteurs des plafonds sont moyennées sur la base des points relevés de la pièce. Ainsi, les plafonds se trouvent sur un même plan horizontal. La composante Z des points du sol est reprise de la méthode 1. Pour rappel, c'est elle qui définit l'ensemble de l'altitude de l'étage. Il est donc nécessaire d'attribuer cette altitude aux points du sol permettant ainsi une homogénéité altimétrique globale sur l'étage et entre les deux méthodes.

Le schéma ci-dessous synthétise ces derniers propos.



L'image ci-dessous représente le visuel du programme à ce stade. Les points des sols sont représentés en rose alors que les points des plafonds en vert représentant un total de 3 pièces.



Figure 124: Coordonnées générées dans Dynamo représentants 3 pièces avec la méthode 2

4) Construction des surfaces plafonds

La construction des plafonds se fait facilement avec cette méthode. L'ordre d'arrivée des points correspond à l'ordre des mesures réalisées sur place par l'opérateur. Il est donc possible simplement de reprendre la liste des plafonds et de créer un polygone passant par ces points. L'image ci-dessous représente 3 géométries plafonds générées dans Dynamo.



Figure 125 : Géométries des plafonds générées dans Dynamo

5) Translation verticale des plafonds

La programmation de cette étape reprend en quasi-totalité la puce 11 de la méthode 1. En effet, l'objectif est de translater verticalement les plafonds au niveau du point du sol mesuré. La seule différence avec la première méthode, c'est qu'il n'est pas nécessaire de calculer un barycentre car la méthode veut qu'un point soit mesuré au sol. Ce dernier est alors utilisé pour calculer la distance sous plafond utile à la translation à opérer. L'image ci-dessous représente la translation des plafonds pour 3 pièces, le premier point de chaque pièce mesurée est repris pour calculer la distance sous-plafond.



Figure 126: Translation des géométries plafonds pour obtenir les sols dans Dynamo

6) Génération des éléments plafonds, sols, murs

Cette dernière étape étant réalisée, le programme disposant maintenant des géométries du plafond et du sol ainsi que les niveaux de ces derniers, il faut reprendre les étapes de génération des plafonds (cf. puce 10), des sols (cf. puce 12) et des murs (cf. puce 13) de la méthode 1. Ceci s'applique exactement de la même manière.

Finalement, l'image ci-dessous comprend 2 pièces construites par la méthode 1 (M1) et 3 pièces par la méthode 2 (M2).



Figure 127: 3 pièces générées dans Revit par l'outil 2

À noter qu'à la fin de la génération des pièces, il est nécessaire de vérifier le paramètre de la hauteur de décalage par rapport au niveau du plancher. En effet, lors de la génération des éléments du sol, un décalage peut se créer par rapport au niveau importé. Cet espace se crée automatiquement selon le type de sol sélectionné, laissant ainsi de la place pour la couche supérieure. Il est possible et nécessaire de modifier cette valeur avant de passer à l'étape suivante. Pour ce faire, il faut sélectionner la Famille Revit "Mon_Sol_feuille" et lui attribuer la valeur de décalage par rapport au niveau de 0.0000 m en suivant les étapes illustrées cidessous :



Figure 128: Sélectionner l'ensemble d'une famille dans Revit

Sols (10)	~	B Modifier le t	ype	e
Contraintes			^ ^	^
Niveau	<multiples></multiples>			
Décalage par rapport au	0.0000			
Limite de pièce	✓	•••••••		
Lié au volume		••••••••••••••••••••••••••••••••••••••		

Figure 129: Modification du décalage par rapport au niveau dans Revit

Ce schéma représente l'ensemble des nœuds Dynamo, illustrant ainsi l'outil par translation verticale. L'ensemble de ces nœuds est décrit dans l'annexe F.



Figure 130: Représentation des nœuds du programme visuel, par translation verticale élaborée sur Dynamo

9.2. Les portes, fenêtres et ouvertures

Avant de passer à cette étape, il est absolument nécessaire de générer les murs, les plafonds et les sols des pièces. Dans Revit, les éléments tels que les portes ou les fenêtres viennent se clipper contre les différents éléments de murs. Dans ce sous-chapitre, trois outils sont proposés pour réaliser les portes, les fenêtres et les ouvertures. Ils sont tous similaires, à l'exception des textes introduits pour la recherche de la codification. Pour simplifier, un outil a été créé pour chaque élément, limitant ainsi les modifications dans le programme directement. Il est important de noter que les éléments générés à l'aide de ces outils sont également créés avec les dimensions exactes. Cela signifie que les mesures et proportions des éléments seront conformes aux dimensions réelles. En annexe G se trouve le détail du programme dans Dynamo

Le flux de travail suivant a été mis en place :



Pour rappel, les codifications suivantes ont été élaborées pour les portes, les fenêtres et les ouvertures :

Les portes :									Les fenêtres :				
N° Pt	Х	Υ	Ζ		Cod	de			N° Pt	Х	Υ	Ζ	Code
P1				E1T1P1	E1T1P1P01 E1T1P1P01				P1				E2T1P1FE2
P2				E1T1P1					P2				E2T1P1FE2
P3				E1T1P1	.PO	1			P3				E2T1P1FE2
							Le	s ouvertu	res :				
				N° Pt	Х	Υ	Ζ		Code 2P1001				
				P1				E2P1001					
				P2				E2P1001	L				
				P3				E2P1001	L				

Il est nécessaire de mesurer 3 points pour générer ces éléments en question. A noter, que les points 1 et 2 sont ceux du bas et que le 3^{ème} représente celui du haut.



Figure 131: Ordre des points pour le bon fonctionnement de cet outil

1) Connexion avec le fichier Excel de coordonnées

Cette étape est la même que réalisée précédemment, il faut se référer au chapitre 9.1.

2) Import des éléments Mur Revit dans Dynamo

Comme vu dans les sous-chapitres précédents, les murs ont été créés et directement importés dans Revit sous la forme d'éléments. Il est indispensable de les rappeler dans Dynamo pour interagir avec. Dynamo a une fonction permettant d'importer des éléments depuis Revit.



Figure 132: Import des éléments murs de la maquette en cours

3) Filtre des coordonnées par le code

Comme pour les outils développés pour les pièces, il est nécessaire de mettre en correspondance la codification relevée avec une codification comprenant toutes les solutions possibles. Ainsi, en sortie, il sera possible d'obtenir l'ensemble des coordonnées de chaque élément. Ce sous-chapitre démontre en détails l'exemple pour les portes. A noter que le principe est exactement le même pour les fenêtres et les ouvertures.



4) Création des points

Le programme est configuré pour créer des points par liste comme illustré ci-dessous :



Figure 133: Points d'une porte créée dans Dynamo

5) Calcul du point d'insertion de l'élément

Comme expliqué précédemment, le point d'insertion des éléments dans Revit est le point milieu en bas de l'élément. Par conséquent, il est nécessaire de calculer ce point afin de l'utiliser ultérieurement pour générer l'élément en question. Les deux points bas de l'élément porte correspondent aux deux premiers points de la liste. Il est donc possible de filtrer ces deux points et de prendre simplement la moyenne de leurs composantes pour obtenir le point d'insertion souhaité.



Figure 134: Point milieu créé en bas de l'élément porte

6) Sélection du bon élément Mur

Cette section met en avant la manière dont le programme sélectionne le mur approprié pour clipper l'élément à générer. Lors de la création de l'élément dans Revit à l'aide de la souris de l'ordinateur, il suffit de cliquer sur le mur à la position souhaitée pour créer l'élément. Dans le programme, cette tâche est plus complexe car il faut lui fournir à la fois le point milieu calculé précédemment et le mur sur lequel l'élément doit être clippé.

Pour résoudre cela, il a été décidé de créer une sphère de 5 cm de rayon centrée sur le point milieu calculé dans la puce précédente. En effectuant l'intersection des géométries de tous les murs avec cette sphère, il devient alors possible de déterminer le mur qui intersecte la sphère, et donc celui sur lequel l'élément doit être créé. Il est important de noter que la valeur de 5 cm a été choisie de manière arbitraire. Cependant, il est crucial de faire attention à ne pas choisir une valeur trop grande. Si le mur a une épaisseur inférieure à 5 cm, cela pourrait créer une autre porte juste en face de la première.



Figure 135: Sphère intersectant un mur vue 3D

Sphère vue de plan :



Figure 136: Sphère intersectant un mur en plan

Maintenant que la sélection des murs est faite, il reste encore à définir l'ordre des points par rapport à la liste des murs. Dans Dynamo, les points sont ordonnés dans le sens du relevé. Cependant, l'ordre des points dans cette liste peut ne pas correspondre à l'ordre des murs sélectionnés, ce qui pourrait entraîner des problèmes lors de la génération des éléments de portes, par exemple si le programme utilise un point incorrect, la porte pourrait être placée complètement à côté du mur, provoquant ainsi une mauvaise génération.

Pour éviter ce problème, il est nécessaire de réaliser un alignement des listes entre les points et les murs sélectionnés. En filtrant la liste des points en fonction des intersections avec les murs choisis, il est possible de s'assurer que les points et les murs soient correctement associés. Ainsi, lors de la création des éléments, les points seront alignés avec les murs appropriés, garantissant une génération correcte et précise des éléments.

Cette étape de filtrage et d'alignement des points est essentielle pour assurer le bon fonctionnement du programme et pour obtenir des résultats cohérents dans la génération des éléments en relation avec les murs sélectionnés.

7) Duplication de l'éléments à créer

À ce stade, il est nécessaire de définir les éléments qu'il est souhaité de créer. Par exemple, pour une porte, il faudra télécharger la famille correspondante, ce qui définira alors le premier type (T1) de porte. Pour un deuxième type de porte, il sera nécessaire de télécharger une autre famille de portes et ainsi de suite. L'aspect visuel de la porte n'est pas d'une grande importance. Comme expliqué précédemment, toutes les familles de portes téléchargées seront ultérieurement reprises par l'architecte de la maquette pour les remplacer par ses propres familles spécifiques selon le rapport photos fourni.

Pour télécharger des familles d'objets, il faut procéder comme suit :

Dans l'onglet insérer de Revit, Autodesk propose déjà certaines familles d'objets permettant de les utiliser simplement :



Figure 137: Bouton permettant d'accéder au famille Autodesk

Ensuite, il suffit d'aller rechercher les portes, fenêtres, les ouvertures, et de les charger. Il faut s'assurer de télécharger les familles appropriées pour les éléments souhaités, cela garantira la représentation correcte et cohérente des objets dans la maquette. À noter qu'il n'est pas nécessaire d'avoir exactement le bon élément. Il s'agit d'avoir un élément qui définit un type de portes, par exemple, et qui sera modifié par l'architecte avec ses propres familles.



Figure 138: Familles d'éléments proposées par Autodesk dans Revit

Il est essentiel de noter que la maquette doit être aussi réaliste que possible. Heureusement, de nombreux sites internet proposent une variété de familles d'objets. Par exemple, le site https://www.bimobject.com offre une recherche d'éléments relativement simple. Il est possible de sélectionner le logiciel et la marque de l'objet pour affiner la recherche et trouver précisément l'élément souhaité.

Une fois que la famille d'objet est téléchargée dans Revit, elle devient accessible dans Dynamo. Cependant, il est important de réaliser ces étapes avant de lancer l'outil spécifique dans Dynamo. Sinon, il ne sera plus possible de sélectionner la famille dans Dynamo pour la générer automatiquement.

L'étape suivante est de dimensionner les familles d'objets téléchargées aux dimensions réelles, en appliquant le même principe qu'avec les murs. À l'aide de Dynamo, les éléments de chaque famille sont dupliqués et la longueur et la hauteur sont ajustés pour obtenir les dimensions exactes requises pour chaque objet.

Pour calculer les dimensions, les 3 coordonnées nécessaires à la construction de la porte sont reprises. Le processus consiste à séparer tous les premiers points dans une nouvelle liste, et de faire de même pour les puces 2 et 3 de la méthode 1. Ensuite, les largeurs et les hauteurs peuvent être calculées en fonction de ces points.

Pour obtenir la largeur, la distance entre les points 1 et les points 2 doit être calculée. Pour obtenir la hauteur, la distance entre les points 2 et 3 doit aussi être calculée. Le schéma cidessous représente le principe de calculs des dimensions pour 3 portes dans Dynamo :



Lors de la duplication d'un élément, il est essentiel de lui attribuer un nouveau nom. En général, les éléments Revit dans une famille sont nommés selon leur dimension, par exemple, "730 x 2040 mm". Afin de conserver cette appellation, la largeur et la hauteur sont utilisées pour donner le nom au futur élément de la famille. Il est important de noter qu'après plusieurs tests de l'outil, il s'est avéré qu'il est impératif que chaque élément soit renommé avec suffisamment de précision. Il faut donc ajouter suffisamment de décimales après la virgule sinon, un des deux éléments de dimensions exactement similaires n'est pas généré. Pour éviter cela, il a été décidé d'utiliser la totalité de l'espace texte disponible, soit 6 chiffres après la virgule, pour assurer un nom unique et précis à chaque élément.



Figure 139: Nommage des éléments dupliqués avec grande précision

8) Génération des éléments portes, fenêtres et ouvertures dans Revit

Finalement, pour générer un élément, il est nécessaire d'avoir 3 informations :

- 1) Le point d'insertion de l'élément.
- 2) Le mur sur lequel clipper l'élément
- 3) L'élément dupliqué selon les dimensions réelles

Comme expliqué, il est primordial que les listes soient ordrées pour que les éléments soient appelés avec les informations correctes.



Finalement le programme fonctionne de la manière suivante :

Pour chaque étage et type d'élément (T1, T2, TN), il est nécessaire de relancer le programme. Chaque fois qu'un type est changé, il faut importer une nouvelle famille correspondante. Il est également important de noter qu'il y a probablement un défaut dans Revit ou Dynamo. Après chaque exécution du programme, il est en effet nécessaire de fermer le programme sur Dynamo et de rouvrir le logiciel pour pouvoir relancer un nouveau type ou étage.

Cela signifie qu'il y a une limitation ou un problème dans le fonctionnement de Revit ou de Dynamo qui empêche le lancement de nouveaux types ou étages sans cette manipulation. Cela peut être une contrainte et ralentir le processus de conception, mais il est important de suivre cette procédure pour travailler efficacement avec les différents types et étages dans le projet.

L'illustration ci-dessous représente les 3 nœuds à modifier avant de relancer le programme. Le premier nœud permet de définir l'étage (E1, E2, E3, etc.). Le deuxième nœud est utilisé pour sélectionner le type d'élément (T1, T2, T3, etc.). Le troisième nœud permet de choisir l'élément de la famille à dupliquer.

Comme expliqué précédemment, chaque type, par exemple T2, correspond à une famille spécifique, comme illustré ci-dessous avec la famille "HB-Simple-OC". Pour le type T1, il faudra sélectionner une autre famille appropriée, et ainsi de suite, en fonction des besoins du projet et des types d'éléments à générer pour chaque étage.



Figure 140: Les éléments à modifier par l'opérateur avant de relancer le programme

Ce chapitre traite l'exemple des portes. Toutefois, pour les fenêtres et les ouvertures, il s'agit exactement du même programme hormis que le texte de codification change.



Figure 141: Porte générée automatique de type 1



Figure 142: Porte générée automatique de type 2
Fenêtre Type 1

Fenêtre Type 1

Avec une autre dimension



Figure 143: Fenêtre générée automatiquement de type 1



Figure 144: Fenêtre générée automatiquement de type 1 Avec une autre dimension

Il faut toutefois être prudent sur un aspect qui n'a pas encore été évoqué jusqu'à présent. Une porte peut avoir plusieurs orientations. En effet, une porte peut avoir ses gonds à droite, tandis que d'autres portes pourraient les avoir à gauche. De plus, elle pourrait s'ouvrir en la tirant ou en la poussant. De ce fait, il y a 4 possibilités différentes pour la position d'une porte. Il est absolument nécessaire de contrôler cet aspect, car les portes sont générées de manière automatique et leur position peut varier. Le point d'insertion joue un rôle car il est situé d'un côté ou de l'autre du mur, ce qui influe sur la position de la porte. Dans tous les cas, des vérifications sont nécessaires. Ce contrôle est également à effectuer pour les fenêtres qui présentent la même problématique. A noter que suivant l'organisation, cet aspect peut également être traité par l'architecte. En effet, dans ce travail il est également possible d'obtenir un rapport photo, ce qui permettrait de l'utiliser pour effectuer ces adaptations.

Les différentes positions d'une porte contre un mur :



Figure 145: Les 4 positions différentes d'une porte contre un mur

Ce schéma représente l'ensemble des nœuds Dynamo, illustrant ainsi l'outil pour la génération des portes, fenêtres et ouvertures. L'ensemble de ces nœuds est décrit dans l'annexe G.



Figure 146: Représentation des nœuds du programme visuel, pour les portes, fenêtres et ouvertures sur Dynamo

9.3. Autres objets

Ce sous-chapitre aborde un outil qui permet également d'importer des éléments automatiquement dans Revit. Cependant, cette fois-ci, l'objectif est de générer des éléments de type et de taille standard. Cela signifie qu'en comparaison avec d'autres outils, nous allons simplement utiliser les bibliothèques et importer l'objet souhaité sans en modifier les dimensions. Il est important de noter qu'il suffit de mesurer un seul point pour importer ces objets. En règle générale, le point d'insertion se situe toujours au centre, en bas de l'élément.

Cet outil est assez similaire au sous-chapitre précédent concernant les portes, fenêtres et ouvertures. Les aspects liés au calcul des points milieux et au dimensionnement de l'objet ont simplement été retirés. Pour le reste, le programme est le même : le flux de travail suivant a été mis en place. En annexe C4 se trouve le détail du programme dans Dynamo.



Pour rappel la géocodification pour les autres objets ponctuels est la suivante :

N° Pt	Х	Υ	Ζ	Code
P1				E2T1P2XX1

1) Connexion avec le fichier Excel de coordonnées

Cette étape est la même que réalisée précédemment, il faut se référer au chapitre 9.1.

2) Import des éléments Mur Revit dans Dynamo

Cette étape il faut se référer au chapitre 9.2. puce 2

3) Filtre des coordonnées par le code

Comme pour les autres outils développés pour les pièces, il est nécessaire de mettre en correspondance la codification relevée avec une codification comprenant toutes les solutions possibles. L'exemple ci-dessous est proposé pour un type d'interrupteur avec la codification INT choisie à la place des « XX » de la codification : **E1T1P1XX1**

Liste des coordonnées générales

Liste crée comprenant toutes les solutions de codification possibles pour les portes



4) Création des points

Le programme est configuré pour créer des points par liste comme illustré ci-dessous :



5) Sélection du bon élément Mur

Se référer au chapitre 9.2. puce 5

6) Duplication de l'éléments à créer

Se référer au chapitre 9.2. puce 7

Dans l'onglet insérer dans Revit, Autodesk propose déjà certains interrupteurs. Il faut simplement aller charger cette famille dans le projet Revit.



Figure 147: Bouton permettant d'accéder au famille Autodesk

Étant donné qu'il s'agit d'éléments de taille standardisée, il n'est pas nécessaire de modifier leur dimension. Cependant, il sera nécessaire de leur fournir un nouveau nom après duplication. Pour simplifier, il a été décidé de leur attribuer simplement le nom du type de la codification, soit T1, T2, TN, etc.,

7) Génération des éléments dans Revit

Finalement, pour générer un élément, il est nécessaire d'avoir 3 informations :

- 1) Le point d'insertion de l'élément.
- 2) Le mur sur lequel clipper l'élément
- 3) L'élément dupliqué selon les dimensions standardisées

L'illustration ci-dessous représente les 3 nœuds à modifier avant de relancer le programme. Le premier nœud permet de définir l'étage (E1, E2, E3, etc.). Le deuxième nœud est utilisé pour sélectionner le type d'élément (T1, T2, T3, etc.). Le troisième nœud permet de choisir l'élément de la famille à dupliquer.

Modification de l'Etage, du type et de la famille
ABC String E1 >
ABC String T1 ····
Family Types Interrupteur simple allumage:T1 ~ Family Type

Figure 148: Les éléments à modifier par l'opérateur avant de relancer le programme

Finalement, l'exemple ci-dessous représente l'import de 4 interrupteurs sur différents murs avec l'outil programmé.



Figure 149: 4 interrupteurs générés à l'aide de l'outil objet ponctuel

Ce schéma représente l'ensemble des nœuds Dynamo, illustrant ainsi l'outil pour la génération des éléments ponctuels standardisés. L'ensemble de ces nœuds est décrit dans l'annexe H.



Figure 150: Nœuds du programme Dynamo pour les objets ponctuels

10. Méthode d'exploitation manuelle

En plus des pièces, fenêtres et portes, une maquette peut comprendre de nombreux autres éléments de base tels que les façades du bâtiment, la toiture, ainsi que d'autres caractéristiques comme les balcons ou les escaliers. Ces éléments ne sont pas couverts par le processus d'automatisation et doivent être créés manuellement. Les étapes nécessaires pour accomplir ces tâches sont décrites en détail dans les sous-chapitres suivants.

10.1. Enveloppe du bâtiment

Comme mentionné précédemment, la maquette ne contient que les murs intérieurs du bâtiment. Les façades extérieures n'ont pas encore été créées et doivent l'être. Pour ce faire, il est essentiel de mesurer uniquement les points du bas de chaque façade à l'aide de la station totale. Les murs étant considérés comme verticaux, il n'est pas nécessaire de lever les intersections entre les façades et la toiture. Comme expliqué précédemment, une codification spécifique doit être attribuée à l'ensemble de ces points. Une option serait de les identifier simplement avec la codification "FA", acronyme de façade.



Figure 151: Illustration du relevé des façades à la station totale

Une fois les mesures terminées, il est obligatoire de trier et de conserver uniquement les points identifiés avec la codification "FA". Cela peut être accompli facilement à l'aide d'outils tel qu'Excel. Ces points doivent ensuite être importés dans la maquette numérique pour les utiliser dans le processus de dessin manuel. Il convient de noter que cette étape n'est pas aussi simple qu'elle n'y paraît dans Revit.

Revit permet d'indexer des nuages de points, ce qui autorise leur utilisation dans le projet. Cependant, il est important de souligner que Revit accepte uniquement le format propriétaire Autodesk, à savoir les fichiers ".rcp" et ".rcs". Malheureusement, ces fichiers ne sont pas éditables directement. Pour les convertir au format adéquat, il est nécessaire de recourir à un autre logiciel de la suite Autodesk, à savoir Autodesk Recap Pro. Initialement conçu pour la création de modèles 3D à partir de photographies et de numérisations au laser, Recap Pro a été utilisé dans le cadre de ce travail uniquement pour convertir les fichiers de coordonnées au format ".csv" en fichiers au format ".rcs". Pour obtenir un fichier ".csv", il faut dans un premier temps trier la colonne du fichier Excel de base par rapport à la codification « FA ». Il convient ensuite de conserver uniquement ces coordonnées selon le tableau ci-dessous et de les enregistrer au format ".csv", directement depuis Excel dans un sous-dossier «Facade».

	4	В	С
Coord	onnée =	Coordonnée N	Hauteur H
1	626.7	33;210.25	;9.969
2	626.6	598;210.26	4;17.34
3	606.7	15;210.73	81;9.943
4	606.7	12;210.73	88;17.40

Figure 152: Fichier sous format ".csv" sans codification



Figure 153 : Logiciel Autodesk ReCap Pro

En fin de compte, la dernière étape consiste à importer dans Revit le nuage de points représentant l'enveloppe du bâtiment. Une fois qu'il aura rempli sa fonction, il pourra être supprimé.



Figure 154: Propriété du nuage de points dans Revit

Pour construire ces murs, il faut utiliser les fonctionnalités de Revit. Il est impératif de sélectionner le type de mur "feuille de papier" avant de procéder au dessin des murs. De plus, il faut être attentif au niveau défini dans les propriétés du mur. Il est essentiel de comprendre qu'un étage est défini par un niveau, et que tous les éléments de cet étage sont liés à ce niveau. Par conséquent, une fois les murs créés, il est nécessaire de les contrôler ou de les ajuster au niveau souhaité.

Il y a plusieurs solutions de modélisation d'un mur manuel :

- Créer un seul mur au niveau du rez-de-chaussée, puis ajuster sa hauteur pour qu'il atteigne la toiture.
- Dessiner un mur par niveau, de la même manière que cela a été fait pour la création des pièces. Cela signifie créer deux murs superposés l'un sur l'autre pour chaque niveau.

Le choix entre ces deux solutions doit être discuté en amont et défini en collaboration avec le mandataire du projet.



Figure 155: Fonction Revit pour dessiner un mur

Figure 156: Paramètre d'un mur dans Revit, sélection du niveau et définition de sa hauteur



Figure 157: Construction d'un mur en façade manuellement

10.2. Toiture

Concernant la toiture, la mesure de points à la station totale est représentée selon l'illustration ci-dessous :



Figure 158 : Illustration du relevé de la toiture à la station totale

Ensuite, il faut répéter exactement les mêmes étapes que pour l'enveloppe du bâtiment pour obtenir le nuage de points, mais cette fois-ci pour la toiture. Cela implique de définir une géocodification pertinente, de trier le fichier de points en utilisant cette codification, de créer le nuage de points à l'aide du logiciel ReCap Pro, puis de l'importer dans Revit.

En ce qui concerne la modélisation des toitures dans Revit, Grâce à l'aide et au cours de Monsieur Saugy Nicolas, mes compétences en modélisation des toitures dans Revit ont pu être améliorées. Avec l'utilisation des outils de base tels que "Toit par tracé", il est possible de générer une première représentation de la toiture et ensuite d'apporter des modifications avec différents éléments adaptables, tels que la pente des toitures, les tracés des corniches, etc. Sans entrer dans les détails, il est essentiel d'avoir une formation pour effectuer ces ajustements. La collaboration avec l'architecte qui réalise finalement la toiture serait donc préférable. Il semble être plus compétent pour effectuer ces ajustements étant probablement la personne connaissant le mieux le logiciel. Il est également important de noter que la précision des mesures sur les toitures est généralement inférieure à celles des angles bien définis à l'intérieur des bâtiments. En effet, le point de mesure depuis la station totale n'est parfois pas très précis, notamment en raison de la définition et du choix du point à mesurer. De plus, la modélisation précise d'une toiture se rapproche davantage d'une représentation ajustée au mieux sur les points mesurés. Les pages suivantes présentent des exemples d'adaptation de toiture.

Les principes suivants peuvent être appliqués sur une toiture. Cette liste n'est pas exhaustive.

Il est nécessaire d'avoir les façades du bâtiment créées au préalable pour générer une toiture.



Figure 159: Façades du bâtiment nécessaires pour créer une toiture

Pour créer la toiture de base, la fonction « Toit par tracé » demande de sélectionner les façades, les pentes des toits sont générées avec des pans à 30 °



Figure 160: Création d'une toiture de base avec la fonction Revit

Il est possible de modifier simplement les pentes des toitures en ajustant le degré d'inclinaison. Pour les avant-toits, il suffit de définir la distance par rapport à la façade à l'aide d'une cotation.

▶ 30.00° Modification de l'inclinaison du pan

30 Modification de la taille de l'avant-toit

L'exemple ci-dessous représente des pentes du toit côté pignon à 45 °et déport de 1m d'avant-toit



Figure 161: Modification des pentes de toiture et de la longueur des avant-toits

Il est possible d'enlever à un pan de toiture sa définition d'inclinaison, ainsi, sa pente sera nulle et ne sera pas prise en considération :



Figure 162: Possibilité de définir l'inclinaison d'un toit

Il est envisageable de modifier également la toiture manuellement avec des outils DAO en supprimant des lignes et en ajoutant d'autres. Il faudra toutefois, ajuster correctement la définition de l'inclinaison pour chaque ligne individuellement.



L'exemple ci-dessous est un ajout d'avant toit de 2.60 m



Figure 163: Modification de la toiture manuellement avec les outils DAO

Il est également possible d'ajouter des lucarnes directement intégrées aux pans du toit. Pour ce faire, l'idée est de recréer un petit toit individuellement et de le modifier à la longueur et à la largeur souhaitées de la lucarne en utilisant les outils présentés précédemment. Ensuite, il faut placer cet élément de toiture perpendiculairement au point mesuré devant la façade.

A l'aide de l'outil Attacher/Détacher le toit, le logiciel va pouvoir faire la jonction automatiquement avec le toit initial. Il faudra ensuite ajouter la longueur de sortie de cette lucarne

Pour finir, il faudra modifier manuellement l'ancien toit pour obtenir l'ouverture correcte sous la toiture. L'ensemble de ces phases est exposé en image ci-dessous :



Figure 164: Création d'un toit individuel pour une lucarne



Figure 165: Modification du toit en forme de lucarne



Figure 166: Liaison des deux toitures ensemble



Figure 167: Modification de la taille de la lucarne et modification DAO de la toiture de base

10.3. Autres

D'autres éléments peuvent également être ajoutés à la maquette, tels que des escaliers, des balcons, des couverts, des cheminées, etc.

Le principe reste le même que celui expliqué précédemment. L'opérateur doit simplement définir la codification qu'il souhaite et préciser quels points sont nécessaires pour construire l'élément souhaité. En terminant par cette dernière phase, la maquette comprend l'ensemble des éléments de base.

11. Contrôle des éléments d'une maquette numérique

Ce chapitre est dédié au contrôle d'une maquette numérique réalisée à l'aide des outils développés dans le présent rapport. Il est effectivement souhaité que l'ensemble des outils fonctionne parfaitement et réalise une partie du travail automatiquement. Mais il est d'autant plus important de pouvoir avoir un certain contrôle sur ce qui a été généré.

Des exemples d'erreurs peuvent être cités :

- Divers éléments n'ont peut-être pas été générés.
- Des éléments ne font peut-être pas la bonne dimension.
- Une pièce est peut-être mal construite suite à des points mal ordonnés dans le fichier Excel.
- Un élément construit manuellement a peut-être été oublié.

Dans ce chapitre, il y a deux contrôles qui peuvent et/ou doivent être réalisés. Le premier, qui a déjà été évoqué en début de rapport, concerne les nomenclatures des éléments générés dans la maquette numérique.

Pour chaque famille d'élément, il est possible de ressortir une nomenclature. Il est donc possible de quantifier le nombre d'éléments générés par les outils programmés. À noter que pour comparer ces chiffres, il est impératif de savoir combien il y en avait en entrée dans le fichier de coordonnées Excel. Pour simplifier, la lecture du fichier Excel n'étant pas très ludique et pratique, il est conseillé plutôt de tenir un carnet de terrain en ordre lors des mesures sur place. Il paraît évident que suivant la taille de la maquette, l'opérateur risque de se tromper dans l'ordre des points à relever selon le mode d'emploi de la codification à un moment ou un autre. Si une faute est alors constatée, elle peut être annotée.

Pour continuer sur la quantification, il serait judicieux de tenir dans le carnet de terrain également le nombre de pièces mesurées, le nombre de portes selon chaque type, de même que pour les fenêtres, autres éléments ponctuels et objets à construire manuellement. De ce fait, il est possible de savoir précisément le nombre d'éléments devant être générés dans la maquette. Il est également possible d'aller plus loin et de tenir un croquis de terrain avec un schéma des pièces et des éléments se trouvant à l'intérieur. Une comptabilisation de ces éléments peut être réalisée par la suite. Des exemples de nomenclatures sont proposés ci-

<nomenclature des="" pièces=""></nomenclature>								
A B C D E								
Nombre	Nom	Périmètre	Surface	Niveau				
Pièce 12.45 9.19 m² Niveau 12								
2	Pièce	16.16	16.26 m ²	Niveau 12				
3	Pièce	15.17	8.18 m²	Niveau 12				
4	Pièce	8.07	3.95 m²	Niveau 12				
5	Pièce	12.62	9.95 m²	Niveau 12				

Figure 168: Nomenclature des pièces à comparer avec le carnet de terrain

<nomenclature des="" portes=""></nomenclature>								
Α	В	С	D	E	F	G		
Nombre	Famille et type	Largeur	Hauteur	Niveau	De la pièce: Nom	A la pièce: Nom		
HB-Simple-	DC: 0.676406 x 2.0740	059						
1	HB-Simple-OC: 0.67	0.68	2.07	Niveau 12	Pièce	Pièce		
1 HB-Simple-	DC: 0.776641 x 2.0510	000						
1	HB-Simple-OC: 0.77	0.78	2.05	Niveau 12	Pièce	Pièce		
1 HB-Simple:	0.777319 x 2.055021							
1	HB-Simple: 0.777319	0.78	2.06	Niveau 12	Pièce	Pièce		
1 HB-Simple:	0.782460 x 2.054002							
1	HB-Simple: 0.782460	0.78	2.05	Niveau 12	Pièce	Pièce		
1 HB-Simple:	0.828554 x 2.071000							
1	HB-Simple: 0.828554	0.83	2.07	Niveau 12	Pièce			
1	·	·			· · ·	· ·		
Total généra	II: 5							

Figure 169: Nomenclature des portes à comparer avec le carnet de terrain

<nomenclature des="" installations="" électriques=""></nomenclature>							
Α	В	С	D				
Famille	Description	Total	Niveau				
Interrupteur simple		1	Niveau 12				
Interrupteur simple		1	Niveau 12				
Interrupteur simple	•	1	Niveau 12				
Interrupteur simple	o	1	Niveau 12				
Interrupteur simple	\$ 	1	Niveau 12				

Figure 170: Nomenclature des installation électriques à comparer avec le carnet de terrain

Le deuxième contrôle est appelé « visuel ». Lors des séances avec le professeur Bertrand Cannelle, il a été évoqué la possibilité de recréer, dans la maquette numérique, les visées sur chaque point mesuré depuis la station totale. Au fur et à mesure de l'avancement de ce travail de Master, il s'est avéré que cette idée semble tout à fait pertinente et permet de contrôler un ensemble de paramètres qui ne sont pas accessibles avec de simples nomenclatures. En effet, la géométrie de certains éléments peut être affectée par une erreur de dimensionnement qui ne serait pas forcément visible à l'œil nu. Alors qu'avec toutes les visées depuis la station totale sur chaque point mesuré, il devient possible de s'assurer que les éléments ne souffrent pas de fautes grossières dans leurs dimensions. Ainsi, il paraît impératif de réaliser ce contrôle pour valider la qualité de la maquette numérique en termes de dimensionnement.

Pour ce faire, un petit programme a été élaboré sur Dynamo, permettant de montrer visuellement les points mesurés depuis les stations.

Pour utiliser le programme, il faut configurer un sous-fichier Excel de la manière ci-illustrée. Il est composé d'un nom de station fictif dans la première colonne, suivi des coordonnées Est, Nord, et de la hauteur.

A			В	B C		D	
N° de station fictif		Co	ordonnée E	onnée Coordonnée N		Hauteur H	
44	ST50		622.2	292	214.5	95	12.375
45	ST50	622.3		845	214.6	27	11.043
46	ST50		623	.23	216.5	47	11.045
47	ST60		624.5	573	214.7	98	11.496
48	ST60	625.		.84	216.2	93	9.96
49	ST60		624.0)48	213.	52	12.375

Figure 171: Exemple de fichier Excel pour le contrôle visuel par Dynamo

Dans la première colonne (A), il est nécessaire d'introduire un numéro de station fictif avec les lettres « ST » (abréviation de station) suivi d'un nombre. A noter que ce chiffre doit être mentionné dans la colonne A pour le point de la station de l'instrument et l'ensemble des points mesurés depuis cette dernière. Pour une nouvelle station, il faudra alors changer de nombre comme schématisé ci-dessous :



Figure 172: Schéma de représentation du texte de station fictif pour le programme de contrôle visuel

Pour le choix de ces nombres, il faut éviter les chiffres et les petits nombres. Le problème est le suivant : par exemple, la composition « ST2 » peut se retrouver dans ST20 et dans ST200, etc. Le programme ne comprendra pas correctement, et il y aura des visées supplémentaires qui seront créées, faussant complètement le contrôle. Il ne faut donc pas hésiter à mettre de grands chiffres.

Le premier point de chaque changement de nombre après l'acronyme ST doit être une station. Le programme va d'abord filtrer les différentes stations selon la première colonne, puis prendre le premier point pour créer une ligne avec chaque point. Ceci représente ainsi la visée depuis la station totale.

Liste N	Liste N+1
ST50 (Station)	ST60 (Station)
ST50 (Point)	ST60 (Point)
ST50 (Point)	ST60 (Point)
ST50 (Point)	ST60 (Point)



Figure 173: Schéma du programme visuel, liant la station avec les autres points par une ligne

Pour conclure, ce programme est adaptable. Si le souhait est de ne visualiser les mesures que depuis une station, il suffit de ne mettre que celle-ci dans le fichier Excel. De même, pour plus de clarté, il est recommandé dans un premier temps de retirer les stations extérieures. En effet, il est imaginable que de nombreux points de référence à l'intérieur du bâtiment proviennent de mesures depuis les stations extérieures. Les visées passent donc à travers les fenêtres et portes, pouvant être en quantités importantes et ne permettant plus de faire un contrôle visuel adéquat. Le détail du programme Dynamo est disponible en annexe l.



Figure 174: Exemple de contrôle visuel, sur une vue 3D d'un appartement



Figure 175: Contrôle visuel des éléments fenêtres

Ce schéma représente l'ensemble des nœuds Dynamo, illustrant ainsi l'outil par contrôle visuel. L'ensemble de ces nœuds est décrit dans l'annexe l.



Figure 176: Nœuds du programme Dynamo pour le contrôle visuel

12.	Rapport photos programmé

Pour rappel, l'établissement d'un rapport photos est optionnel. En effet, l'architecte ou le mandant peut demander que des photos soient prises pour chaque point mesuré depuis la station totale. Comme évoqué dans le sous-chapitre 5.1 du présent document, l'appui photographique peut rendre un grand service à l'architecte, notamment pour définir le type et les matières des éléments mesurés. Par exemple, il pourra définir la matière de chaque sol (parquet, moquette, carrelage), et cela peut s'appliquer pour l'ensemble des éléments générés dans la maquette numérique.

De plus, afin d'aider l'architecte à rechercher la photo souhaitée dans l'ensemble du rapport photo, un outil a été développé sur Dynamo permettant de générer un élément circulaire à chaque point mesuré dans de la maquette numérique, Pour chacun de ces éléments, le numéro de l'image est implémenté dans les champs commentaires des propriétés de l'élément. Ainsi, l'architecte peut facilement lier les photos aux éléments de la maquette. Ces deux parties sont exposées dans les sous-chapitres suivants.

12.1. Rapport photos

L'objectif de ce rapport est de fournir à l'architecte les images des points mesurés par la station totale afin de l'aider à ajuster la maquette selon la réalité sur place. En activant le module photos sur l'instrument lors de chaque point mesuré, une image sera enregistrée au format .JPG dans le contrôleur de l'appareil. Les indications du numéro de point, de la géocodification introduite, de la date et de l'heure seront visibles en filigrane sur les images.

Avec l'ensemble de ces images, il est possible de créer un rapport concis. Pour ce faire, il a été décidé d'ajouter trois éléments qui semblent nécessaires pour l'utilité du rapport :

1) Le numéro de l'image en texte :

Possibilité de réaliser une recherche par texte dans le rapport et trouver facilement la photo souhaitée.

- 2) L'image mesurée par l'instrument avec le filigrane.
- 3) Un commentaire :

Possibilité d'ajouter des remarques éventuelles de l'opérateur quant à la décision sur ces mesures ou aux problèmes rencontrés sur place.

Le schéma suivant représente une page du rapport souhaitée pour une image :



Il n'est pas conseillé d'élaborer ce rapport manuellement, cela prendrait beaucoup trop de temps en fonction du nombre d'images capturées. C'est pourquoi il a été décidé de programmer ce rapport. Après plusieurs tests sur Dynamo, il n'a pas été possible de créer un rapport photo en PDF avec un ensemble de photos. Il a donc été nécessaire de recourir à une autre solution.

Au cours du cursus en Master, il a été possible d'étudier le langage Python de manière approfondie. De plus, avec les conseils du Prof. Bertrand Cannelle et des recherches sur internet, ce programme a pu être développé. Pour y arriver, le logiciel Anaconda a été installé. Ce programme permet d'utiliser plusieurs logiciels open source, dont Spyder, qui est une interface permettant de coder en Python. A noter que d'autres logiciels de programmation Python peuvent également lire le code élaboré pour ce programme.

😵 Spyde	r (Python 3.8)	
Fichier Éc	dition Recherche Source Exécution Déboguer Console Projets Outils Affichage Aide	
🗅 🗁	🖹 🖺 🧮 @ 🔹 🔜 🛃 📭 🤻 州 端 🔚 🚙 🔛 🔀 I 🗡 🧼 🔶	C:\Users\micha
avail_de_	Master_MW\03_Traitement\2_Dynamo\Test_final\8_Rapport_images\2_Rapport_images\sanstitre0.py	
🗖 temp.	py $ imes$ Rapport_images_Python.py $ imes$ sanstitre0.py $ imes$	
<aucun></aucun>	· <aucun></aucun>	
1 2	<u># -*- coding: utf-8 -*-</u>	
3 4	Created on Tue Oct 31 14:24:12 2023	
5	@author: micha """	
<u>A</u> 7		
8		

Figure 177: Interface de l'application Spyder

Pour la suite, qui est plutôt technique, le programme a été développé sur la base de 3 libraires :

- Reportlab, qui est un ensemble d'outils open source permettant la création de documents PDF à l'aide du langage Python. Cette bibliothèque offre des fonctionnalités, pouvant aller de simples textes et formes géométriques à des graphiques complexes et des illustrations, le tout pouvant être intégré dans un fichier PDF
- 2) Pillow, qui est une bibliothèque de traitement d'images.
- 3) Openpyxl, qui est une bibliothèque Python pour lire/écrire des fichiers Excel xlsx/xlsm/xltx/xltm.

Pour utiliser ce programme Python, il est impératif d'avoir sur l'ordinateur les fichiers classés proprement et selon la manière suivante : un dossier avec l'ensemble des photos et un fichier Excel, conformément au tableau ci-dessous. Le programme va rechercher les textes dans les lignes et les colonnes du fichier Excel. Il est impératif d'être strict avec l'encolonnement. A noter que le fichier Excel de base respecte cet encolonnement et peut être directement utilisé en l'état.

Un dossier comprenant toutes les images	Un fichier Excel.xlsx avec sur la colonne A, les n° des images et sur la colonne H les commentaires
	A H
	17 IMG0049
	18 IMG0050
IMG0034 IMG0035 IMG0036	19 IMG0051
	20 IMG0052
	21 IMG0053
	22 IMG0054
	23 IMG0055
IMG0037 IMG0038 IMG0039	24 IMG0056
	25 IMG0057
	26 IMG0058 Point de référence
	27 IMG0059 Point de référence
	28 IMG0060 Point de référence
Figure 178: Dossier avec toutes les images	Figure 179: Structure du tableau Excel pour rapport photos

L'ensemble du code du programme élaboré est disponible à l'annexe J, accompagné de commentaires pour chaque ligne de code. Il n'est pas forcément utile pour un utilisateur de savoir recoder l'ensemble de ce fichier. En revanche, il est essentiel de savoir ce qu'il faut modifier dans ce code pour générer un nouveau rapport.

Modifier le chemin d'accès aux images et l'accès au fichier Excel :

La variable « nom_image » va rechercher le texte dans le fichier Excel à la colonne [0], qui correspond à la colonne A. Cela peut facilement être adapté dans le code si le fichier Excel doit, pour une raison particulière, être configuré autrement. Le même principe est appliqué au commentaire, où la colonne [7] correspond à la colonne H dans le fichier Excel.

nom_image	= str(ro	ow[0]) ·	+ ".JPG"	if	row[0]	else	None
	comment	aire =	row[7]	# C	olonne	Н	

Spécifier le nom du rapport PDF :

Créer un document PDF en format paysage avec nom du rapport pdf = SimpleDocTemplate("rapport3.pdf", pagesize=landscape(letter)

Lorsque le programme est lancé, le rapport photos PDF est généré avec une photo par page. Le texte de l'image est positionné au-dessus de l'image. Ainsi, en effectuant simplement une recherche avec CTRL + F, il est possible de rechercher très facilement la photo souhaitée. De plus, sur chaque photo, le point visé et les informations sont visibles dans le filigrane et en dessous de chaque image. Enfin, un commentaire est généré s'il y en a un dans la colonne du fichier Excel. Le résultat peut être aperçu sur deux pages du rapport ci-dessous :



Figure 180: Photo générée dans le rapport photo PDF avec commentaire ajouté en dessous de l'image



Figure 181: Photo générée dans le rapport photo PDF sans commentaire

12.2. Outil photos

Bien qu'un rapport photos soit utile à l'architecte, il peut être fastidieux de trouver l'image souhaitée lors d'un relevé important comprenant beaucoup d'images. Pour simplifier cette tâche, l'idée est de partir du programme des objets ponctuels élaboré au sous-chapitre 9.3 et de le modifier afin d'importer un élément sphérique simple à chaque point mesuré dans la maquette. Pour cela, il est nécessaire de télécharger un élément qui ne s'applique pas directement à un mur et qui peut inclure un commentaire dans ses propriétés. L'idée est donc de générer cet élément et ensuite de lui insérer dans les commentaires des propriétés de l'objet, le numéro de l'image correspondant au point mesuré.

De ce fait, l'architecte aura en sa possession dans la maquette numérique l'ensemble des éléments sphériques, indiquant pour chaque point mesuré le numéro de l'image correspondante dans le rapport. En travaillant sur deux écrans, la maquette numérique sur l'un et le rapport sur l'autre, son travail d'ajustement des éléments ne peut qu'être facilité. Les étapes sont décrites ci-après. Pour plus de détails sur le programme réalisé dans Dynamo, il faut se référer à l'annexe K.

Pour commencer, le programme a besoin d'avoir un sous-fichier Excel de coordonnées comprenant uniquement les coordonnées Est, Nord et la hauteur de toutes les coordonnées des points mesurés. Il n'y a pas besoin d'autres informations car l'ensemble des points devra être utilisé pour la création des éléments sphérique.

	Α	В	C	;
	Coordonné E	e Coordonné N	e Haute	eur H
	А	В	С	D
1	619.389	185.081	10.563	
2	614.452	208.728	9.91	
3	611.074	210.27	12.763	
4	615.105	210.155	12.759	

Figure 182: Fichier de coordonnées Excel pour l'outil photos

Ce programme a été réalisé dans un fichier Dynamo, mais il est composé de deux parties. La première partie consiste à créer les éléments sphériques dans la maquette numérique. Pour ce faire, la création des points dans Dynamo, utilisée par l'ensemble des outils développés présenté au chapitre 9, a simplement été reprise en supprimant toutes les opérations de filtrage, car celles-ci n'ont plus lieu d'être. Tous les points du fichier Excel sont donc créés dans Dynamo à ce stade.



Figure 183: Points générés dans Dynamo

Il faut ensuite créer un élément sphérique à chaque point. Pour ce faire, il existe un nœud Dynamo très simple permettant de générer un élément qui demande en entrée des points et la famille d'élément souhaité.

En ce qui concerne l'élément, il a été décidé d'utiliser une lumière sphérique de 18 cm de diamètre. Il s'agit de l'objet le plus sphérique qui a été trouvé lors des recherches sur les librairies BIM. À noter qu'il est possible de dupliquer l'élément avant d'exécuter le programme, permettant ainsi de nommer le type de l'objet avec un terme tel que « Contrôle ». Ainsi, si d'autres objets lumineux sont ajoutés à la maquette numérique, il sera toujours facile de sélectionner uniquement ces éléments de contrôle et de les supprimer quand ils n'auront plus d'utilité. L'élément est représenté dans l'image ci-dessous. Il faut faire attention c'est le dessus de l'élément qui fait office de point d'insertion.



Figure 184 : Elément de type lumière sphérique de 18 cm de diamètre :

La famille étant importée dans Revit, le programme peut simplement être lancé, et finalement, le résultat du test est le suivant :



Figure 185: Points créés par l'outil photos sur une pièce

Pour la deuxième partie du programme, Il faut renseigner le champ « commentaires » de chaque élément sphérique avec le numéro de l'image associée à sa position. cf. illustration 186 ci-dessous.

Pour commencer, il faut reconstituer une liste complète de l'ensemble des textes des images. Pour ce faire, il faut, dans un premier temps, aller consulter le dossier des images. A titre d'exemple, le test suivant a été réalisé avec 33 images allant de IMG0001.JPG à IMG0033.JPG. Il faut donc créer ces 33 textes. Ceci peut se faire facilement en programmation et sur Dynamo.

Propriétés					X				
Lighting-Fixtures_Salvatori_Urano-18 Urano 18									
Luminaires (1)	~	🔒 Modifier le	e ty	pe				
Electricité - Ch	narges			\$	\sim				
Panneau									
Numero de o	circuit								
Données d'ide	entification			\$					
Image									
Commentair	es	IMG0015.J	PG						
Identifiant		117							
Visible dans	les nomen	~							

Figure 186: Propriété de l'élément avec en commentaire le n° de l'image

Figure 187: Photo IMG0015.JPG

Enfin, il suffit d'appeler l'ensemble des éléments sphériques et de les modifier comme cela a été fait par exemple pour l'ajustage des largeurs et des hauteurs des portes et des fenêtres. Dans le cas de ces éléments sphériques, il est simplement nécessaire d'ajuster le commentaire, qui est initialement vide. Un simple remplissage du champ commentaire avec les entrées correspondantes de la liste des images est à effectuer. Il est à noter que les images sont dans le même ordre que les points, car lorsque le point est mesuré, la photo est prise. Ainsi, il n'y a aucun risque d'erreur.

Finalement, ces deux programmes fonctionnent parfaitement, le rapport photos avec l'ensemble des informations nécessaires est réalisé. Il permet de rechercher facilement la photo souhaitée dans l'ensemble du document. Néanmoins, ce rapport seul n'aurait pas beaucoup de valeur car la recherche d'informations y serait longue et fastidieuse. En revanche, dès qu'il est possible de connaître directement dans la maquette numérique quel point a été mesuré et par quelle image, cela prend directement un autre sens. Le rapport photos devient presque la meilleure source d'informations dont dispose l'architecte pour adapter sa maquette à la réalité sur place.

Ce schéma représente l'ensemble des nœuds Dynamo, illustrant l'outil des éléments sphériques du rapport photos. L'ensemble de ces nœuds est décrit dans l'annexe K.



Figure 188: Nœuds du programme Dynamo pour les éléments sphériques du rapport photos

13. Création d'une maquette numérique par test concret

Maintenant que la méthodologie a été développée et décrite, il est souhaité de la mettre à l'épreuve dans des conditions réelles. Voici le flux de travail proposé pour la création de la maquette numérique :



1) Description du bâtiment

En accord avec le Professeur Bertrand Cannelle, il a été choisi de ne pas utiliser le bâtiment de la HEIG-VD car il ne correspond pas à un bâtiment classique. À la place, le développement de la méthode a été réalisé dans les locaux du bureau de l'employeur de l'étudiant à Echallens. Ces locaux s'étendent sur deux étages (rez et 1er) et comprennent un total de 22 pièces, y compris les couloirs. Le bâtiment, datant des années 90, se prête parfaitement au type de bâtiment idéal pour l'application des outils élaborés.



Figure 189: Image du bâtiment test

2) Objectifs de la maquette

La création d'une maquette 3D numérique en cas concret permet de mettre à l'épreuve les réflexions et les outils développés dans ce projet. Au cours de cette expérience pratique, il est possible qu'apparaissent des problèmes ou des éléments qui n'avaient peut-être pas été anticipés dans la réflexion initiale. Il est essentiel de les identifier et d'évaluer si des améliorations sont envisageables, ou si des ajustements sont nécessaires, tant au niveau de la réflexion que des outils développés.

Comme évoqué au début de ce travail, l'objectif principal est de créer une maquette numérique grâce au levé à la station totale, à la géocodification et aux outils développés. L'objectif est d'évaluer si cette méthode de mesure d'un bâtiment peut rivaliser avec les techniques de laser scanners couramment utilisées. Les heures de travail seront enregistrées en vue d'une comparaison en fin de rapport.

Pour cette maquette, l'idée est de définir un cadre de travail qui englobera la mesure de l'enveloppe du bâtiment, de sa toiture, de toutes les pièces, portes, fenêtres, ouvertures, prises électriques, ainsi que des balcons et escaliers. Cette définition doit normalement être élaborée en collaboration avec un architecte, en utilisant un questionnaire dédié à cet effet tel que celui élaboré au sous-chapitre 6.5.

3) Mesures du bâtiment

Comme précédemment mentionné, la mise en place d'un système de points de référence est essentielle pour orienter l'instrument de mesure dans toutes les pièces. Cette considération doit être constamment présente à l'esprit de l'opérateur. Il est important de noter que la collecte des autres points nécessaires à la création de la maquette se déroule simultanément. Par conséquent, l'opérateur doit être attentif et définir un ordre précis pour les mesures. Dans ce contexte, il a été décidé de suivre un schéma spécifique : tout d'abord, les points de référence, puis les points pour les pièces, ensuite les portes, les fenêtres, suivis des ouvertures, et enfin les prises. Cette approche systématique permet à l'opérateur de rester organisé et limite les risques d'oublier des points essentiels et cette rigueur doit être appliquée pour chaque station.

Concernant le géoréférencement, initialement, il a été décidé de créer un système de référence cartésien local, avec la première station ayant les coordonnées X = 600.00; Y = 200.00; Z = 10.00. De plus, lors des stations extérieures, des points limites de la mensuration officielle ont été relevés. Cela permettra de calculer la translation et la rotation nécessaires pour ramener les données dans le système de référence officiel suisse MN95.

La géocodification étant déjà élaborée pour les pièces, portes, fenêtre et ouvertures, il a été nécessaire de clarifier les autres éléments relevés. Dans ce contexte, la géocodification suivante a été retenue :

Désignations	Codifications:
Enveloppe du bâtiment:	
- Toiture:	то
- Façades:	FA
Pièces:	Selon manuel des codifications
Portes:	Selon manuel des codifications
Fenêtres:	Selon manuel des codifications
Ouvertures:	Selon manuel des codifications
Prises:	Selon manuel des codifications + PR
Escaliers:	ESC
Balcons:	BA
Points limites:	PL
Points de référence	Néant

Figure 190: Tableau des codifications utilisées dans le cas pratique

Comme convenu dans les phases explicatives, un carnet de terrain a été tenu, sur lequel un nom était attribué aux pièces tels que "P1 = bureau 1", "P2 = cuisine", "P3 = couloir", etc. En cas de problème pendant une mesure, il était ainsi possible de noter l'incident sur cette feuille et de l'associer à la pièce en question. Par exemple, une des erreurs commises était liée à l'ordre des points d'une pièce selon la méthode 2 : le premier point doit être le point au sol mais dans une pièce il a été mesuré en dernier. Ceci a donc été noté sur la feuille, en indiquant que le point N° 1116 devrait être devant les autres ayant la même codification.

Une autre utilité de cette feuille, comme également évoqué précédemment, est de compter facilement le nombre de pièces. Ainsi, il était possible de vérifier rapidement si le nombre de pièces générées dans la maquette correspond au nombre de pièces mesurées.

En ce qui concerne la définition des types de portes, de fenêtres et de prises, il était impératif de noter à quel type appartient chaque élément sur la feuille. Par exemple, la porte "Type 1" est identifiée comme une porte blanche classique. Cette approche permet à l'opérateur de savoir quel type de porte, fenêtre ou prise utiliser en fonction des besoins.

Les types suivants ont été répertoriés dans la maquette :

Portes :									
Type 1:	Porte blanche classique								
Type 2:	Porte blanche avec fenêtre 8 carreaux								
Type 3:	Porte blanche entrée principale								
Type 4:	Porte ascenseur								
Type 5:	Porte entrée appartement								
Type 6:	Porte fenêtre blanche double								
Type 7:	Porte avec fenêtre intégrée								

Figure 191: Tableau des types de portes

Fenêtres :							
Type 1: Fenêtre blanche sans ouverture							
Type 2:	Fenêtre 4 carreaux						
Type 3:	Fenêtre avec ouverture en haut						
Type 4:	Fenêtre avec double ouverture en haut						
Type 5:	Fenêtre blanche 2 portes						
Type 6:	Fenêtre blanche 3 portes						
Type 7:	Fenêtre blanche double sans ouverture						
Type 8:	Fenêtre 1 porte simple						

Figure 192:	Tableau des	types de	fenêtres
-------------	-------------	----------	----------

Prises :								
Type 1:	Bouton lumière + 1 prise							
Type 2:	Prise Internet + 3 prises							
Type 3:	Boitier internet							
Type 4:	2 Boutons Lumière +ventilation							
Type 5:	3 prises triples							
Type 6:	Bouton ON-OFF							
Type 7:	Bouton lumière							
Type 8:	3 boutons + 1 prise							

Figure 193: Tableau des types de prises

En ce qui concerne l'acquisition des mesures proprement dite, il convient de noter que l'instrument Trimble SX10 ne permet pas de mesurer des points à une distance inférieure à environ 90 cm. Dans des espaces restreints tels que des toilettes, il peut parfois être difficile de prendre les points nécessaires pour effectuer les mesures. Il s'avère que, à force d'expérience, on apprend que des stations relativement basses en termes de hauteur permettent de mesurer les points plus facilement. Cela est dû à une plus grande distance par rapport au plafond, ainsi qu'à la possibilité de mesurer plus facilement les points proches du sol, comme les bas de porte ou les prises électriques. Le SX10 possède un carénage relativement imposant, ce qui se traduit par une zone de masquage où les mesures sont impossibles à réaliser lors de visées très inclinées. Ce phénomène s'accentue lorsque l'instrument est installé à une hauteur élevée. Le problème est représenté schématiquement ci-dessous :



Figure 194: Problème des stations trop hautes

Il convient également de noter que ce même phénomène se produit aussi lors de l'acquisition des photos. De plus, en fonction des niveaux de zoom, la caméra peut parfois montrer le carénage de l'instrument plutôt que le point visé. Cependant, même si la photo ne correspondra pas à celle souhaitée, la mesure est effectuée correctement au bon emplacement. Il est également possible de remarquer une différence entre la taille et la qualité des images en fonction des niveaux de zoom. Ce point n'est pas le plus important mais reste une information qui peut être utile pour un meilleur rendu du rapport photos.

Exemple de la problématique sur différentes photos



Figure 195: Image avec le point encore visible mais partiellement cachée par le carénage de l'instrument

Managan Managan Ang Managan Man

Figure 196: Image avec point non visible car caché par le carénage de l'instrument



Figure 197: Image avec qualité d'image mais partiellement cachée par le carénage



Figure 198: Image avec grand niveau de zoom sans obstruction

Un inconvénient directement lié à l'instrument SX10 est le manque d'un pointé laser. En effet, la caméra fonctionne bien, mais il est toujours nécessaire de regarder l'écran du contrôleur. Tandis qu'un simple pointeur laser permettrait de voir directement l'emplacement de la mesure. En cas d'obstruction du carénage, il est difficile de savoir si le point mesuré correspond bien à celui souhaité. Il existe les stations totales S7 et S9 de chez Trimble qui accomplissent exactement la même tâche mais avec un pointé laser. Trimble a également lancé la SX12 en y ajoutant un pointeur laser.

Pour conclure, l'ensemble des opérations sur le terrain, y compris la pose et la mesure des points de référence, le relevé des façades, de la toiture, de l'ensemble des pièces avec leurs portes, fenêtres et prises respectives, a pris 2 jours complets de 8 heures chacun.

4) Construction de la maquette phase 1

Les corrections des erreurs de mesures :

Pour commencer, il est nécessaire de corriger les éventuelles erreurs notées sur la feuille de notes prises pendant les mesures. Dans le cas de ce test, deux erreurs ont été identifiées :

- La première erreur consiste à déplacer un point mesuré au sol devant les autres coordonnées afin que le programme puisse lire les coordonnées dans le bon sens selon la méthode 2.
- La deuxième erreur concerne un problème de déplacement latéral. Le contrôleur a la possibilité de se placer soit à la place de la personne à la station, soit depuis le prisme en regardant l'instrument. Habituellement, ces corrections sont effectuées depuis la position de l'instrument. Pour une raison inconnue, le contrôleur prêté pour le test était configuré dans l'autre sens. Il a donc fallu modifier le sens des déplacements dans l'étude pour corriger cette erreur. Il a été ensuite nécessaire de refaire les exports.

Le calcul des coordonnées compensées :

Maintenant, il y a deux options possibles. Le choix entre ces options dépend de la précision des coordonnées calculées avec la station totale. Si les mesures se sont bien déroulées et que les erreurs moyennes en termes de précision des mesures sont inférieures à la précision recherchée, il n'est pas nécessaire de réaliser une compensation rigoureuse des coordonnées par la méthode des moindres carrés. En revanche, si des tensions se font ressentir, alors il est absolument nécessaire de traiter ces données par la méthode rigoureuse. À noter que, selon les exigences du mandat, il se peut qu'une compensation rigoureuse soit dans tous les cas nécessaire. Si vous travaillez pour une entreprise qui vise une précision inférieure à 4-5 millimètres pour ses pièces, il sera impératif d'effectuer cette étape supplémentaire. Cela permettra de garantir la précision de chaque point à l'aide d'indicateurs permettant de valider cette précision. Toutefois, il faut prendre en compte que le programme génère parfois des géométries extrapolées. En effet, il horizontalise et verticalise les éléments, créant potentiellement des écarts avec la réalité, probablement supérieurs à cette précision. Il est indispensable de signaler qu'il n'est pas possible de modifier ultérieurement la maguette numérique à l'aide de coordonnées plus précises recalculées. Les éléments constituant la maguette ont été construits sur la base des coordonnées d'entrée, et les outils ne permettent pas la modification des éléments de la maquette par un autre jeu de coordonnées. Il est donc impératif de faire attention directement aux précisions demandées par le mandat et de suivre la bonne direction. Le schéma ci-dessous illustre les possibilités pour arriver à une maquette numérique par la méthode développée dans ce Master.



Figure 199 Schéma des possibilités pour arriver à la maquette numérique

En ce qui concerne la précision des relevés pour cette maquette, toutes les stations présentent des erreurs moyennes de positionnement inférieures à 1 cm. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de réaliser une compensation rigoureuse. L'exemple ci-dessous montre la station 9091 avec une orientation basée sur 4 points provenant de 4 stations différentes. Les résidus sont bien inférieurs au 1 cm recherché. L'ensemble de ce fichier est disponible en annexe L.

Station (Relèvement)													
Nom	AC	IH	IHO	Temp	¦ Pressio	n¦ F	PPM ¦						
9091	1	0.000		19.0	95	3 1	5.2 ¦						
Abriss (Statio	Abriss (Station 9091)												
			۸						+		D	áciduc I	
NOM	AC		Ar	ідте н	_	A	igre v	U19	į –	esidus			
	1	¦ Angle H	Vcc	Vmm	Angle V	Vcc	Vmm	Distance	Vmm	VYmm	VXmm	VHmm	
9079	-	343.3329	151	1	98.6677	289	3	5.621	1	-0	2	-3	
9052	1	350.5148	-209	-2	98.3595	64	0	4.669	-1	-1	-2	-0	
9016	1	29.8366	53	0	70.7903	¦ 743	1	1.223	1	1	1	-1	
9005	1	196.6949	-31	-0	95.9329	-791	-4	3.089	2	0	-2	4	
Nom	AC	-	Υ¦		x ¦	н¦	Ori	Echelle	1	sY ¦	sX	l s	н¦
9091	-	614.94	45 ¦	213.23	5¦ 14.0	58 343	3.3480	1.000000	0.0	001 ¦	0.001	0.00	1 ¦
Figure 200: Calcul d'une station sur 4 points de référence													

Le système de coordonnée :

Concernant les systèmes de coordonnées, il est important de noter que dans Revit le système de coordonnées arbitraire a son origine en X = 0.00, Y = 0.00, Z = 0.00. Lors de la session de mesures, un système local avec X = 600.00, Y = 200.00, Z = 10.00 a été défini. Pour éviter de grands déplacements par rapport à ce centre et donc pour faciliter le travail dans Revit, il est possible d'effectuer une translation des coordonnées locales en utilisant le barycentre de l'ensemble des coordonnées ramenées aux coordonnées (0,0,0). Toutefois, les coordonnées initiales ont été conservées car la maquette a été construite avec ce jeu de coordonnées. Si besoin, il faudrait relancer l'ensemble des outils uniquement pour obtenir une maquette centrée. Il est donc recommandé de modifier directement les coordonnées avant de lancer les outils de modélisation.

Lors des mesures, 3 points de limites de propriété ont été mesurés. Ces points sont connus dans le système planimétrique suisse MN95, et l'un de ces points comprend également une altimétrie par rapport au nivellement fédéral suisse NF02. Par conséquent, il est possible de fournir les valeurs de translation et de rotation des coordonnées du système de la maquette numérique vers le système suisse MN95 et NF02. Cette transformation a été effectuée à l'aide d'une transformation de Helmert et les valeurs de translation et de rotation sont les suivantes :

Transformation planimétrique Cne Plan No Coord. aiustage Coord. transformées Vv Vs Ecartés Vx
 594
 2538555.574
 1165813.315
 2538555.589
 1165813.320
 -0.015
 -0.005
 0.016

 2206
 2538547.852
 1165813.606
 2538547.836
 1165813.611
 0.016
 -0.005
 0.017

 2882
 2538557.440
 1165766.978
 2538557.441
 1165766.967
 -0.001
 0.011
 0.011
 Ctre gravité 2538553.622 1165797.966 2537919.040 1165600.880 → Translation à appliquer depuis le centre de gravité de ces 3 points Translation Nombre de points d'ajustage utilisé : 3 Nombre d'itération : 1 Rotation= 80.7048 **>** Rotation à appliquer depuis le centre de gravité ces 3 points Echelle= 1.000000 Ecart type= 0.015 Pour Vaud= 0.018 Transformation altimétrique Cne Plan No Z Ajustage Z transf. Vz Ecarté 594 623.084 623.084 0.000 Nombre de points d'ajustage utilisé : 1 Correction altimétrique : 613.031 ±infini → Translation altimétrique à appliquer pour chaque point Coordonnées d'origine :

(Points	limites er	l coordor	inées	locales avec numéro	des	points	selon 1	la ba	ase d	le do	onnées	cadastra	ale	officielle)	
01		2206	ΡL	647.787	207	.278	9.871								
01		594	ΡL	649.823	199	.792	10.053								
01		2882	ΡL	606.136	184	.189	10.134								
Figure 201: Transformation de Helmert avec valeurs de translation et de rotation pour passer du système arbitraire au système suisse planimétrique MN95 et altimétrique NF02															

Les pièces :

Maintenant que le système de coordonnées est clairement défini, il est possible de passer à la modélisation. Les outils pour la construction des pièces du rez-de-chaussée ont été lancés en premier pour l'étage 1, qui définit le rez-de-chaussée. A noter qu'il existe un sous-sol (étage 0) qui n'a pas été mesuré, le rez-de-chaussée a par conséquent été défini comme l'étage 1.

Aucune erreur n'est survenue lors du lancement de l'outil pour les pièces. Cependant, une erreur de transcription de la part de l'opérateur a été identifiée dans le déplacement de deux points. Il s'est avéré que la cote introduite pour deux déplacements longitudinaux comportait une erreur d'un facteur de 10. En effet, les valeurs de déplacements réels de 0.87 mètres et 0.97 mètres étaient saisies comme 0.087 mètres et 0.097 mètres. Cette erreur a été corrigée dans le contrôleur, et les exports ont dû être refaits pour relancer le programme. Le résultat est le suivant :



Figure 202: Construction automatique des pièces du rez-de-chaussée
Concernant l'étage supérieur, il n'y avait pas d'erreur constatée. L'ensemble des pièces s'est construit proprement.



Figure 203: Construction automatique des pièces de l'étage

A noter qu'il y a quelques interprétations qui ont été choisie par l'opérateur sur place lors des mesures :

- La première est que dans une pièce, il y avait un gros pilier rectangulaire. L'opérateur a décidé de le traiter comme une pièce normale en lui appliquant la méthode 2 (translation). Il peut être post-traiter par l'architecte en lui donnant les informations nécessaires.



Figure 204: Pilier mesuré comme une pièce

- Au lieu de mesurer une ouverture, qui représente la face complète d'un mur, il a été décidé parfois de générer une pièce fermée dans un premier temps et de supprimer par la suite le mur qui fait office d'ouverture.



Figure 205: Ouverture en supprimant un mur

- Même principe pour les couloirs ayant un escalier. Les couloirs sont provisoirement fermés. Le mur permettant d'accéder à l'escalier doit être supprimer lors de la création de l'escalier.



Figure 206: Mur donnant sur l'escalier à supprimer

Il reste encore à corriger le décalage par rapport au niveau, comme évoqué au sous-chapitre 9.1.2. Autrement dit, le logiciel ajoute, pour tous les sols d'un certain type, une certaine valeur qui crée un espace entre les murs des pièces et les sols, laissant probablement la place pour une autre matière superposable. Cependant, cette valeur peut être modifiée en sélectionnant l'ensemble des sols et en la réglant à 0.0000.

Sols (1) Y		🗟 Modifier le	typ	be
Contraintes			*	
Niveau	Niveau 35			
Décalage par rapport a	0.0023			
Limite de pièce	√			
Lié au volume				

Figure 207: Décalage par rapport au niveau à régler à 0.000

À ce stade, il est possible de vérifier si le nombre de pièces créées par le programme correspond au relevé du carnet de terrain. Pour cela, il faut lancer la recherche automatique des pièces dans Revit qui seront ensuite répertoriées dans la nomenclature des pièces. Sur la feuille de mesures, 22 pièces sont répertoriées, et c'est également le cas dans la nomenclature des pièces exposée ci-dessous. Parmi elles, 5 sont situées au rez-de-chaussée, et 17 ont été créées au premier étage (le pilier considéré comme pièce est inclus).

<nomenclature des="" pièces=""></nomenclature>					
Α	В	С	D	E	
Nombre	Nom	Périmètre	Surface	Niveau	
Niveau 27 Pièce					
30	Pièce	28.69	36.43 m²	Niveau 27	
31	Pièce	19.74	19.76 m²	Niveau 27	
32	Pièce	7.63	3.72 m²	Niveau 27	
33	Pièce	12.97	10.01 m ²	Niveau 27	
34	Pièce	25.07	17.06 m²	Niveau 27	
		· · ·	86.99 m²		
5			86.99 m²		
Pièce 35	Pièce	3.28	0.58 m²	Niveau 34	
36	Diàco	9.04	2.94 m ²	Nivoau 34	
37	Pièce	14 54	13 18 m ²	Niveau 34	
38	Pièce	13 61	6 71 m ²	Niveau 34	
39	Pièce	16.39	15.87 m ²	Niveau 34	
40	Pièce	14 19	12 25 m ²	Niveau 34	
41	Pièce	12 93	10 02 m ²	Niveau 34	
42	Pièce	14.24	12.00 m ²	Niveau 34	
44	Pièce	23.41	32.83 m²	Niveau 34	
45	Pièce	20.97	11.51 m²	Niveau 34	
46	Pièce	12.01	8.94 m²	Niveau 34	
48	Pièce	14.85	9.00 m²	Niveau 34	
49	Pièce	7.45	3.35 m²	Niveau 34	
50	Pièce	17.45	14.52 m²	Niveau 34	
51	Pièce	19.81	23.87 m ²	Niveau 34	
52	Pièce	9.60	5.11 m ²	Niveau 34	
54	Pièce	25.64	35.49 m²	Niveau 34	

Figure 208: Nomenclature des portes

De plus, à cette étape, il est possible de réaliser un contrôle visuel pour vérifier si l'ensemble des pièces a été constitué correctement dans la maquette numérique ou s'il reste des erreurs grossières. Pour ce faire, l'outil de contrôle visuel peut être lancé.

Dans ce contrôle, il a été décidé de supprimer les stations extérieures qui génèrent un grand nombre de points de référence ceci afin de rendre la visualisation plus propre. Il serait également possible d'adapter le sous-fichier Excel à volonté. Par exemple, il serait possible de sélectionner uniquement les points de l'étage 1 ou 2, permettant ainsi d'apporter davantage de clarté dans l'analyse visuelle.

Le résultat ci-dessous représente l'étage supérieur. Il est essentiel d'examiner pièce par pièce pour repérer d'éventuelles erreurs visibles dans la génération des éléments. Dans ce cas précis, aucune erreur n'est à signaler. À noter que pour l'étage inférieur, le même travail a été réalisé et aucune erreur n'a été constatée. Il convient de noter que les points de référence provenant des stations extérieures ont été supprimés de cette visualisation. Cependant, d'autres points de référence demeurent, issus de station à l'intérieur du bâtiment.



Figure 209: Contrôle visuel de l'étage supérieur

Les façades :

Il est maintenant nécessaire de construire l'enveloppe du bâtiment. Ces éléments ne sont pas automatisés, alors il faut suivre la procédure décrite au chapitre 10.

Pour les façades, le nuage de points est importé au format .rcs. Ensuite, il faut reprendre le mur de type "feuille" et dessiner simplement les murs. A noter que les murs sont rattachés à un niveau dans Revit, pour cette maquette le niveau de rattachement est le rez-de-chaussée.

La hauteur des murs a été définie à 1,40 m, ce qui n'est évidemment pas la bonne hauteur. Cependant, il semble judicieux de laisser l'architecte gérer l'intersection entre le mur et la toiture. Il peut ainsi choisir s'il souhaite réaliser une superposition de mur pour les étages ou n'en faire qu'un jusqu'à la toiture. De plus un mur de petite taille permet de ne pas obstruer la maquette en cours de réalisation.



Figure 210: Construction manuelle des éléments de façades, hauteur 1.40 m

Les balcons :

Pour les balcons, la même procédure est utilisée conformément au chapitre 10. Il est important de noter qu'il faut d'abord rehausser la hauteur des murs de la façade pour qu'elle soit plus haute que le futur balcon à constituer. Ensuite, il sera nécessaire de créer l'élément balcon à l'aide des points extérieurs du balcon mesuré à la station totale et de le faire s'appuyer contre la façade perpendiculairement. Une fois le balcon créé, il est possible de réduire la hauteur de mur de la façade à sa hauteur initiale.



Figure 211: Construction d'un élément balcon manuellement

Pour dessiner les balcons, il suffit de dessiner un sol d'épaisseur nulle. Seul les deux points extérieurs des balcons ont été mesurés, ce qui n'a pas d'importance car des attaches perpendiculaires sont proposées dans Revit. Ensuite, il faut attribuer un niveau au balcon et éventuellement lui donner un décalage par rapport à ce niveau, s'il n'est pas à la même hauteur que le plancher de l'étage. Les deux balcons de cette maquette numérique sont situés au même niveau que l'étage supérieur, il n'y a donc pas de décalage à réaliser. Ensuite, il est possible d'aller plus loin en construisant un petit muret de 20 cm de largeur faisant le tour du grand balcon. Finalement, une barrière peut être ajoutée manuellement au-dessus. Il est important de noter que la hauteur de cette barrière n'a pas été mesurée et doit être définie sur place.



Figure 212: Construction du grand balcon avec muret et barrière





La toiture :

En ce qui concerne la toiture, elle a été adaptée au mieux aux points mesurés, conformément à l'entretien avec M. Saugy. La toiture de ce bâtiment n'est pas facile à construire manuellement car relativement complexe. Des approximations ont parfois dû être faites, notamment en raison du fait que les points mesurés ont été relevés de loin, ce qui pourrait affecter la précision. De plus, la définition des points mesurés réellement sur place n'est pas toujours facile à déterminer. Le géomètre a généralement l'habitude de mesurer les points des corniches sur les boudins de chéneau car ils sont plus accessibles. Cela crée des approximations non souhaitées car la toiture est construite sans les chéneaux.

D'autre part, n'ayant pas accès à toute la propriété, il y a des éléments tels que des lucarnes qui n'ont pas été mesurés parfaitement dans les deux sens. Il a donc fallu réaliser quelques approximations et les construire manuellement en utilisant des conditions géométriques telles que les perpendiculaires ou les alignements. L'orthophoto de la toiture du bâtiment mesuré est représentée ci-dessous. Après avoir examiné cette photo, il est apparu qu'il y a également deux balcons-baignoires. Ils ont été construits et reportés approximativement en fonction des cotes mesurées sur l'orthophoto.



Figure 214: Orthophoto de la toiture du bâtiment (swissimage)



Figure 215: Toiture en plan dessinée dans Revit

L'ensemble de la toiture a été construit manuellement. La précision de la maquette par rapport aux points mesurés est simplement représentée dans les illustrations ci-dessous. À noter que l'outil élaboré pour le rapport photos a été utilisé. Ainsi, ce sont les dessous des sphères qui représentent les points mesurés, facilitant la visualisation à l'extérieur du bâtiment. Sur cette première façade, la hauteur des faîtes semble correcte, mais la cassure à gauche devra être encore affinée. Une quantification des écarts n'a pas été réalisée, car les éléments de toiture semblent également ne pas être horizontaux.



Figure 216: Vue de face Sud de la toiture pour analyse de précision



Figure 217: Vue de face Nord de la toiture pour analyse de précision

Cette toiture a été conservée en l'état. Elle peut bien sûr être retravaillée pour affiner toujours plus l'ensemble des éléments composant cette toiture aux points mesurés. Il est toutefois probable que l'architecte puisse le faire de manière plus précise. Il serait alors nécessaire de clarifier cet aspect avant le début d'un mandat.

L'escalier :

Concernant l'escalier entre le rez-de-chaussée et l'étage supérieur, il est difficile de le créer sur mesure et de l'adapter aux points mesurés. En effet, cet escalier ne présente pas un angle droit et ses marches sont de forme irrégulière. Selon l'entretien avec M. Saugy Nicolas, ces éléments sont très complexes à construire manuellement sur Revit. Il faudrait peut-être passer, pour ce genre d'escalier complexe, par une modélisation dans un autre logiciel. Cet élément serait alors importé dans la maquette en tant que modélisation « générique », soit un élément qui ne peut plus être modifié dans Revit par la suite.



Figure 218: Image de l'escalier entre le rez et l'étage supérieur



Figure 219: Fonction disponible dans Revit pour la création d'escaliers

Les escaliers de base disponible dans Revit permettent uniquement de réaliser des escaliers en colimaçon ou des escaliers avec un angle droit.



Figure 220: Endroit où l'escalier devrait être créé

Il n'a donc pas été possible de générer un escalier correspondant aux points avec les fonctions actuellement disponibles. De plus, pour élaborer un modèle générique, il aurait fallu mesurer plus de points que ce qui a été réalisé sur place.

En ce qui concerne la durée de cette première phase, elle a pris environ une journée et demie soit un total de 12 heures. Toutefois, cette valeur peut probablement être réduite sans le temps de recherche pour élaborer les objets manuels. À noter également qu'il n'y a pas eu besoin de réaliser de compensation rigoureuse des coordonnées. Par conséquent, il faudrait compter environ une demi-journée de 4 heures de plus s'il devait y en avoir une

5) Transfert de la maquette phase 1 à l'architecte

Avant d'aller plus loin dans la restitution de la maquette, il est recommandé de travailler en collaboration avec l'architecte. À ce stade, il convient de modifier les murs, les sols et la toiture pour leur donner leurs vraies épaisseurs. En effet, si la maquette est fournie complète avec l'ensemble des autres éléments, lorsque l'on supprime un mur par exemple, l'élément attaché à ce dernier (portes, fenêtres, etc.) est également supprimé. Si les murs ont déjà leurs dimensions réelles, il n'y aura donc aucune perte d'éléments. Pour réaliser cette démarche, il est essentiel de fournir à l'architecte le rapport photos en même temps. Les détails de ce rapport seront décrits plus tard dans le processus. Dans le cadre de ce test concret, cette étape intermédiaire avec l'architecte ne peut pas être réalisée. Les éléments seront donc créés directement sur les murs d'épaisseur nulle.

6) Construction de la maquette – phase 2

Pour finir la maquette, il reste à créer les derniers éléments qui sont directement rattachés aux murs. Il s'agit donc des portes, des fenêtres, des ouvertures et des prises.

Les portes :

Il a été défini 7 types de portes différentes (cf. illustration 191). Par conséquent, il est nécessaire d'avoir 7 éléments de portes pour les générer. N'étant de toute manière pas possible de retrouver les vraies portes parmi les objets BIM disponibles sur Internet. il a été décidé de trouver des portes qui sont plus ou moins différentes les unes des autres, tout en étant aussi proches que possible de la réalité. L'architecte reprendra lui-même ces éléments et les intégrera dans ses propres familles d'objets BIM.

Une fois que les éléments ont été chargés dans Revit, l'outil de génération des portes peut être lancé. Les différentes portes se sont générées avec succès. Cependant, tout n'a pas été aussi simple. Étant donné que l'outil utilise l'intersection d'une sphère d'un certain rayon avec les murs existants, il est parfois arrivé que certaines sphères ne croisent pas un mur, ou à l'inverse, qu'une sphère croise plusieurs murs. Il a donc été nécessaire d'ajuster la taille des sphères dans le programme pour chaque type de porte afin d'obtenir le bon nombre de portes générées et positionnées correctement.



Figure 221: Sphères trop grandes (r=8cm) et elles intersectent également le mur adjacent





Figure 222: Sphère trop petites (r=2cm) et elles n'intersectent pas les murs souhaités

Figure 223: Sphères de taille idéale (r=6cm) dans cette configuration

Il convient également de noter qu'il n'était pas possible de modifier les dimensions de certaines portes téléchargées. Selon un support Autodesk français, il s'agirait de familles qui sont corrompues et qui doivent être rechargées. La solution la plus facile a été de charger une nouvelle famille de portes qui était éditable et relancer l'outil.

En fin de compte, un total de 23 portes a été généré, ce qui correspond aux données notées sur le terrain. Il est à noter qu'au moment de la prise de notes, seul le type de porte et le nombre mesuré étaient notés à l'aide de coches. Cela permet également une validation rapide des résultats obtenus. Un contrôle visuel est également recommandé pour confirmer les dimensions obtenues. A noter qu'il est encore nécessaire de définir l'orientation des portes. Cet aspect serait logiquement traité par l'architecte en même temps que les modifications des familles, il n'a donc pas été traité.

T7_porte: 0.826138 x 2.034003					
1 T7_porte: 0.826138 x 2.034003	0.83	2.03	Niveau 34	Pièce	Pièce
1					
T7_porte: 0.961471 x 2.065050					
1 T7_porte: 0.961471 x 2.065050	0.96	2.07	Niveau 27	Pièce	
1 T7_porte: 0.961471 x 2.065050	0.96	2.07	Niveau 27	Pièce	
2	^ 	^ 	^ 	·	·
Total général: 23					

Figure 224: Extrait de la nomenclature des portes avec un totale de 23 portes générées



Figure 225: Vue du projet 3D avec les portes extérieures générées



Figure 226: Vue du projet 3D avec les portes intérieures générées



Figure 227: Vue en plan des portes générées à l'étage supérieur



Figure 228: Contrôle visuel d'une porte

Les fenêtres :

De manière similaire aux portes, la même procédure doit être suivie pour les fenêtres. Huit familles de fenêtres ont été chargées (cf. illustration 192)., et il est important qu'elles soient éditables. Cependant, il s'est avéré que pour les portes-fenêtres à 3 ventaux, aucune famille éditable n'était à priori disponible. Il a donc fallu opter pour une autre configuration de fenêtre. Lors du lancement du programme, il est nécessaire d'ajuster la taille des sphères qui interagissent avec les murs pour obtenir le bon nombre de fenêtres générées et les dimensions appropriées.

Une erreur est survenue lors de l'utilisation de l'outil. Lorsque plusieurs éléments de la même famille sont positionnés sur le même mur, il conserve la taille du premier objet pour les autres. Par conséquent, il est nécessaire de modifier manuellement la taille des éléments supplémentaires. Cela n'est pas très complexe car les valeurs sont calculées par le programme. Il suffit d'extraire les bonnes valeurs et de les appliquer aux éléments concernés dans Revit.

24 éléments au total ont été générés dans la maquette ce qui correspond également à la feuille de notes. De même que pour les portes, un contrôle visuel est recommandé et l'orientation des fenêtres est à contrôler par l'architecte.

	T3_fenetre: 0.869360 0.87	1.09	Niveau 27	0.91
fenetre:	1 714543 x 0 535019			
_fenetre:	1.714543 x 0.535019	0.54	Niveau 27	1 79

Figure 229: Extrait de la nomenclature des fenêtres avec un totale de 24 fenêtres générées



Figure 230: Vue du projet 3D avec les fenêtres extérieures générées



Figure 231: Vue du projet 3D avec les fenêtres intérieures générées



Figure 232: Vue en plan des fenêtres générées à l'étage supérieur



Figure 233: Contrôle visuel sur deux fenêtres

Les ouvertures :

Comme pour les éléments précédents, le même processus doit être appliqué. L'outil des ouvertures peut être lancé. Lors des mesures sur place, un total de 4 ouvertures a été mesuré. Ces 4 ouvertures ont été générées dans la maquette et ceci peut se confirmer avec la nomenclature.

Porte-Ou	verture: 0.804280 x 2.023000				
1	Porte-Ouverture: 0.80 0.80	2.02	Niveau 34	Pièce	Pièce
1					
Porte-Ou	verture: 1.165272 x 2.404001				
1	Porte-Ouverture: 1.16 1.17	2.40	Niveau 34	Pièce	Pièce
1					
De te O					
Ροπε-Οι	Iverture: 1.199241 x 2.411002				
1	Porte-Ouverture: 1.19 1.20	2.41	Niveau 34	Pièce	Pièce
1					
Porte-Ou	.verture: 2.027407 x 2.413958				
1	Porte-Ouverture: 2.02 2.03	2.41	Niveau 34	Pièce	Pièce
1					

Figure 234: Nomenclature des ouvertures

À noter que le contrôle visuel a permis de mettre en évidence une erreur qui n'avait pas été détectée lors des phases de test. Les ouvertures ont bien été créées et notées avec la bonne largeur et la bonne hauteur. Toutefois, ces dimensions ne sont que des données figuratives dans les métadonnées de l'élément généré. Pour que l'élément "ouverture" soit à la bonne taille, il faut modifier les paramètres "Largeur brute" et "Hauteur brute". À noter que cela est modifiable très facilement dans le programme en ajoutant simplement le mot "brute" au texte existant. Il est également possible de modifier ces valeurs directement dans les paramètres.

Cotes	\$
Largeur	2.0274
Largeur brute	0.8640
Hauteur brute	2.0320
Hauteur	2.4140
Epaisseur	

Figure 235: Paramètres des cotations des ouvertures avec valeurs brutes non modifiées



Figure 236: Eléments ouvertures générés selon les valeurs brutes non modifiées

Cotes	*
Largeur	2.0274
Largeur brute	2.0274
Hauteur brute	2.4140
Hauteur	2.4140
Epaisseur	

Figure 237: Largeur et hauteur brutes corrigées



Figure 238: Ouverture corrigée selon les valeurs de largeur et de hauteur brutes corrigées

Les prises électriques (objets ponctuels) :

Il ne reste plus que les prises à programmer sur la maquette. Pour ce faire, le dernier programme permet d'effectuer cette dernière étape automatiquement. Huit types de prises différents ont été définis (cf. illustration 193).

Même principe que pour les autres outils, il est nécessaire, au préalable, de charger autant de familles qu'identifiées sur place. Il est important de savoir que les prises chargées ne correspondent en aucun cas à la réalité. Il a été difficile de trouver des prises au format « suisse » qui correspondent en plus aux fonctions requises. Les prises générées sont donc purement figuratives à ce stade. L'architecte pourra les remplacer par ses propres modèles, en fonction de ce qui lui semblera le plus approprié.

Lors du lancement de l'outil, la problématique récurrente de la taille des sphères qui intersectent les murs subsiste. Il faut ajuster le rayon dans l'outil développé pour obtenir la bonne taille de sphère qui intersecte correctement tous les murs souhaités. Une adaptation des points doit être réalisée en fonction des types et des étages, tout comme pour les portes et fenêtres.

Les opérations d'automatisation se sont déroulées sans rencontrer de problèmes majeurs. Un total de 46 prises a été généré, en conformité avec la feuille de terrain. Il est nécessaire de créer la nomenclature car elle n'existe pas. De plus, il est possible de la configurer en ajoutant la colonne définissant le type. Ainsi, pour chaque élément, il sera mentionné les acronymes T1, T2, T3, etc., ce qui permet de faciliter le contrôle des éléments générés après chaque lancement. Un contrôle visuel est également réalisé après cette étape.

<nomenclature des="" installations="" électriques=""></nomenclature>							
А	В	С	D	E			
Famille et type	Famille	Nombre	Niveau	Туре			
Prise de courant double - Interrupteur en hauteur: T1	Prise de courant double - Interrupteur en h	1	Niveau 27	T1			
Prise de courant double - Interrupteur en hauteur: T1	Prise de courant double - Interrupteur en haut	1	Niveau 27	T1			
Prise de courant double - Interrupteur en hauteur: T1	Prise de courant double - Interrupteur en haut	1	Niveau 27	T1			
Prise de courant double - Interrupteur en hauteur: T1	Prise de courant double - Interrupteur en haut	1	Niveau 27	T1			
Prise de courant double - Interrupteur en hauteur: T1	Prise de courant double - Interrupteur en haut	1	Niveau 27	T1			
Interrupteur de moteur: T4	Interrupteur de moteur	1	Niveau 27	T4			
Prise à fils divisés: T6	Prise à fils divisés	1	Niveau 27	T6			
Interrupteur: T7	Interrupteur	1	Niveau 27	T7			
Interrupteur va et vient: T8	Interrupteur va et vient	1	Niveau 34	T8			
Interrupteur va et vient: T8	Interrupteur va et vient	1	Niveau 34	T8			

Figure 239: Extrait de la nomenclature des prises avec un total de 46 prises générées

À la suite de l'entretien avec M. Saugy Nicolas, il apparaît que les prises sont bien construites au bon endroit mais pas dans le bon sens. Normalement, une prise doit être alignée verticalement au mur auquel elle est fixée, mais dans le cas de cette maquette, elles sont alignées par rapport à l'horizon. Il n'est à priori pas possible de résoudre ce problème en changeant la position de tous les éléments d'horizontale à verticale.

Normalement, dans Revit, une prise doit se clipper sur une face, et dans des cas spéciaux, il est possible de lui donner un plan de construction permettant de la placer dans un autre sens, par exemple un plafond ou un sol. Apparemment, l'outil développé qui génère ces éléments, prend un plan horizontal pour créer ces éléments, c'est pourquoi ils ne sont pas dans le bon sens dans la représentation 3D. À noter qu'il n'est pas possible de choisir dans l'outil élaboré un clip par face plutôt qu'un plan de construction. La solution évoquée par M. Saugy sera de modifier les familles par l'architecte et ensuite de modifier directement la géométrie de l'élément et de l'inverser de sens. Toutefois, ceci n'est pas évident à réaliser et il faut le refaire autant de fois qu'il y a de types de prises. Une autre idée serait de, si possible, programmer le changement de sens de l'ensemble des prises via Dynamo. Cette adaptation n'a pas été testée.



Figure 240: Construction d'une prise dans Revit par face ou par plan de construction



Figure 241: Représentation en vue 3D de deux prises de types différents, à l'horizontale



Figure 242: Prises générées en plan sur l'étage supérieur



Figure 243: Contrôle visuel de la position d'une prise

Pour générer et contrôler l'ensemble de cette phase 2, il faut compter un peu plus d'une demijournée soit environ 5 heures de temps.

7) Transfert phase 2 à l'architecte

Pour terminer la maquette complétement, il est encore nécessaire de renvoyer la maquette avec les éléments ajoutés sur les façades et les murs. L'architecte ajustera ensuite les éléments en fonction de ses propres familles. Pour ce faire, il est nécessaire d'avoir le rapport photos ainsi que les tableaux des types pour chaque élément. A ce stade, la maquette peut être considérée comme terminée du côté géomètre.

8) Construction du rapport photos

Pour finaliser la maquette de manière complète, il reste à générer le rapport d'images et à créer les éléments sphériques fournissant les numéros d'images des points relevés. Les deux étapes peuvent être réalisées dans n'importe quel ordre.

Pour la génération des éléments sphériques et pour l'import du texte des images dans le paramètre des commentaires de l'élément, il n'y a eu aucun problème lors de l'exécution des outils.

Le résultat une fois le programme lancé est le suivant :



Figure 244: Vue 3D avec les éléments sphériques générés

Propriétés					×
\bigcirc	Lighting-Fixtures_Salvatori_Urano-18 Urano 18				•
Luminaires ((1)	~	🔠 Modifier le	e ty	pe
Electricité - C	Charges			^	\sim
Panneau					
Numero de	circuit				
Données d'ic	dentification			\$	
Image					
Commentai	ires	IMG0303.J	PG		

Propriétés					Х
\bigcirc	Lighting-Fixtures_Salvatori_Urano-18 Urano 18				•
Luminaires ((1)	~	B Modifier le	e ty	pe
Electricité - (Charges			\$	$^{\sim}$
Panneau					
Numero de	circuit				
Données d'ic	dentification			*	
Image					
Commentai	ires	IMG0534.J	PG		





Figure 245: Propriétés des objets sphériques avec n° de l'image correspondant

Finalement, le résultat souhaité est obtenu sans rencontrer d'autres problèmes. Il reste à finaliser le rapport photos pour permettre à l'architecte de s'informer facilement sur les matériaux et les types d'objets mesurés.

Pour accomplir cela, il suffit de lancer le code Python élaboré à cet effet. Il faut s'assurer, comme déjà expliqué, de fournir le chemin d'accès au dossier photos, le texte du numéro de la première image et le texte du numéro de la dernière image et le nom souhaité pour le rapport.



Le rapport ressemble à ceci, avec un total de 562 pages.

nmentaire: Point de référenc

Figure 246: Première page du rapport photos avec n° de l'image et commentaire affiché



Commentaire: Point de référence

Figure 247: Autre page du rapport photos avec n° de l'image et commentaire affiché



Figure 248: Autre page du rapport photos avec n° de l'image affiché et sans commentaire

Finalement, pour conclure cette étape, il a fallu environ 1 heure et 30 minutes. La maquette numérique est ainsi complète, avec l'ensemble des données souhaitées. Aucun problème majeur n'a été rencontré avec ces programmes développés hormis les objets générés horizontalement. Tous les outils semblent fonctionner relativement bien, même s'il est toutefois nécessaire d'ajuster légèrement la taille des sphères intersectant les murs. L'analyse et l'évaluation de la maquette sont présentées au chapitre suivant.

14.	Evaluations et améliorations
-----	------------------------------

Maintenant que la maquette numérique est créée, il est pertinent d'évaluer la qualité de la maquette résultante. De plus, l'un des principaux objectifs est de déterminer si cette méthode s'avère finalement rentable pour une entreprise, notamment si le laser scanner peut parfois être remplacé par cette approche. Enfin, il convient également de mettre en lumière les points d'amélioration proposés pour l'ensemble de cette chaîne opérationnelle.

14.1. Analyse de qualité

La qualité d'une maquette peut être évaluée sur la base de plusieurs points. Dans ce souschapitre quelques points qui semblent essentiels seront évalués. Cette liste n'est pas exhaustive.

Précision des mesures :

Ceci a déjà été évoqué à plusieurs reprises, mais avec l'aide de la station totale, il est possible de mesurer des points avec une précision millimétrique. En effectuant plusieurs stations, cette précision peut être altérée par diverses tensions. Lors de la création de cette maquette, les mesures à la station totale ont permis d'évaluer la précision de la maquette à environ 1 centimètre. Du point de vue d'un géomètre, cette précision semble tout à fait correspondre aux attentes initiales, et par conséquent, un calcul des coordonnées par une méthode rigoureuse ne semble pas nécessaire.

A prendre en considération dans la précision de la maquette : les déplacements verticaux et longitudinaux ainsi que les hauteurs par rapport aux points mesurés qui peuvent engendrer des imprécisions. Il est nécessaire d'être parfaitement vertical ou longitudinal avant de mesurer un point avec ces techniques, et malheureusement, il est relativement difficile d'atteindre des précisions inférieures au centimètre pour ce type de technique. À noter que plus les déplacements sont grands, plus l'imprécision sur le déplacement peut potentiellement être conséquent. Dans cette maquette, deux points ont été mesurés avec des valeurs pour un déplacement latéral juste inférieur au mètre. Ces points ne peuvent en tout cas pas être garantis au centimètre. Pour corriger ou valider ce genre d'imprécision, il serait peut-être souhaitable de prendre des mesures de la face à l'aide d'un distancemètre, ce qui permettrait de contrôler et de valider ces points. Une autre solution serait de mesurer des points dans le prolongement de l'angle et de calculer l'intersection par la suite. Ceci peut être fait et noté dans le carnet de terrain afin d'ajuster ces points avant le lancement des outils.



Figure 249: Point mesuré en déplacement latéral sur le double mètre précision restreinte

À noter également que les points des pièces ont été majoritairement mesurés sur l'angle entre les murs et les plafonds. Ces angles ne sont parfois pas parfaitement bien définis, notamment en raison de la peinture remplissant un peu l'angle. Ces imperfections doivent également être prises en compte dans la précision de la maquette. En effet, la précision des points mesurés peut atteindre le centimètre, mais ces imperfections peuvent encore dégrader cette précision.



Figure 250: Angle entre les murs et le plafond pas très bien défini

Une autre source d'imprécisions provient des outils développés. Les programmes créent des murs verticaux, ce qui est également une approximation. Il semble évident que le mur est vertical, mais avec quelle précision ? Présente-t-il un défaut de verticalité de quelques millimètres, ou est-il parfaitement droit ? Dans le même sens, la méthode 1 par intersection de plan est un outil qui utilise l'extrapolation. Si les mesures des 3 points par face représentent une partie trop petite de la face du mur mesuré, des imprécisions peuvent être engendrées dans les parties extrapolées.

Exhaustivité :

Il est essentiel de discuter des éléments qui composent la maquette numérique générée. Comme démontré, il est possible, à l'aide du carnet de terrain, des nomenclatures et du contrôle visuel, de vérifier si la maquette semble complète et conforme au relevé de la station totale. Ce point est crucial car il permet de justifier la qualité du travail fourni. Comme évoqué et démontré, les outils proposés permettent de générer tous les éléments. Toutefois, il est important d'être attentif et de bien réaliser les contrôles, car il est arrivé à plusieurs reprises qu'il soit nécessaire de relancer les outils, car les sphères n'intersectaient pas correctement les murs souhaités.

À noter que lors de cette phase de test, il aurait été possible de compléter la maquette avec d'autres éléments tels que les radiateurs, les lumières, etc. L'idée de cette maquette était de démontrer que l'ensemble des outils fonctionne avec les contrôles appropriés.

Cohérence des données :

Lors des mesures sur place, il est impératif de disposer d'un carnet de terrain avec le nom des différents types d'éléments et de le tenir à jour. Cela est indispensable pour garantir une cohérence entre chaque élément de la maquette. Chaque même type de porte, par exemple, doit appartenir à la même famille. De plus, les éléments doivent être cohérents et logiques entre eux. Par exemple, les dimensions des portes et des fenêtres doivent correspondre aux dimensions réelles mesurées sur place, ce qui est le cas avec les outils développés.

Hiérarchie des Informations :

Les informations dans la maquette doivent être organisées de manière hiérarchique et logique. Dans cette maquette, les éléments murs sont rattachés et regroupés par étages. Ces étages sont ensuite composés de pièces, et ces pièces sont constituées d'éléments tels que des portes, des fenêtres, ou des éléments ponctuels. Cette logique dans l'ordonnancement est due au lancement des outils dans l'ordre logique, permettant ainsi de garantir cette hiérarchie.

Attributs et Métadonnées :

Idéalement, les éléments d'une maquette numérique devraient être accompagnés d'attributs et de métadonnées appropriés, fournissant des informations supplémentaires telles que le matériau, la date d'installation, etc. Cela n'est pas réalisé par le géomètre, n'étant pas agréé pour effectuer cette tâche. Toutefois, la proposition de travailler en collaboration avec l'architecte permettra l'introduction de ces informations si tel est son souhait, alimentant ainsi davantage la maquette.

Interopérabilité :

La question de l'interopérabilité avec les autres logiciels BIM n'a pas encore été pleinement explorée. En effet, tout au long du processus, la maquette est développée en collaboration entre le géomètre et l'architecte, en supposant que l'interopérabilité se déroule sans heurt. Cela semble être un détail négligeable si l'architecte travaille avec le même logiciel de traitement BIM. Un simple transfert du fichier de projet est alors suffisant. Cependant, si ce n'est pas le cas, il faudrait alors recourir au format de transfert "IFC", comme évoqué au début du rapport. Revit permet d'exporter ce fichier, qui peut ensuite être importé dans un autre logiciel BIM.

Dans le cadre des cours de Master, un autre logiciel a été abordé, à savoir Dalux. Pour réaliser l'exercice, la maquette numérique a été exportée vers ce logiciel. Voici le résultat :



Figure 251: Vue 3D de la maquette dans Dalux

PIÈCES		
Q Rechercher		
Pièce 30	36.43 m	m²
Pièce 31	19.76 m	m²
Pièce 32	3.72 m	m²
Pièce 33	10.01 m	m²
Pièce 34	17.06 m	m²
Pièce 35	0.58 m	m²
Pièce 36	3.84 m	m²
Pièce 37	13.18 m	m²
Pièce 38	6.71 m	m²
Pièce 39	15.87 m	m²
Pièce 40	12.25 m	m²
Pièce 41	10.02 m	m²
Pièce 42	12 m	m²
Pièce 44	32.83 m	.m²

Figure 252: La nomenclature des pièces semble avoir été correctement transférée dans Dalux



Figure 253: Informations sur les éléments ont également été transférées dans Dalux (exemple sur une prise)

14.2. Analyse du temps

L'analyse du temps est un élément crucial pour déterminer la rentabilité de cette méthode pour une entreprise. Dans le tableau ci-dessous, le temps passé pour l'établissement de la maquette test est détaillé par phases d'avancement du projet. Une comparaison est également effectuée avec la méthode par laser scanner, qui est la plus couramment utilisée à ce jour.

Il convient de noter que pour chaque phase, certaines informations n'ont pas été vraiment réelles, par exemple, les discussions nécessaires avec le mandant pour définir les objectifs de la collecte. D'autre part, les différences du temps consacré par rapport à la méthode par laser scanner sont également expliquées.

Finalement, pour ce test, il s'avère que la maquette élaborée selon la méthode de géocodification, ainsi qu'avec l'utilisation des outils développés à cet effet, semble être la solution optimale. En effet, en prenant en compte toutes les heures nécessaires au projet y compris les phases non réalisées réellement (entre parenthèses dans le tableau), il a fallu 42 heures et 30 minutes pour créer l'ensemble de la maquette et ceci par une seule personne. En revanche, avec la méthode par laser scanner, le temps estimé est d'au moins 54 heures pour une personne seule. Il est à noter que cette valeur a été calculée sur la base d'un temps de traitement 5 fois supérieur au temps passé sur place. Selon la complexité de la demande ou le traitement des nuages de points, ce chiffre peut passer jusqu'à environ 94 heures, soit 10 fois le temps passé sur place. Il est important de noter que le test par laser scanner n'a pas été effectué sur place, il ne s'agit donc que d'une estimation du temps nécessaire pour réaliser la maquette.

Cette méthode peut être considérée comme efficace pour ce type de bâtiment. Il faut toutefois savoir que selon la complexité du bâtiment, le relevé par la méthode de géocodification peut engendrer plus d'heures consacrées à la mesure et au traitement manuel de certains éléments. Finalement selon ce constat, plus le bâtiment est complexe, plus la méthode par laser scanner devient la solution la plus optimale. Il est important de bien évaluer les spécificités de chaque projet et de choisir la méthode qui convient le mieux en fonction des contraintes de temps, de budget et de précision requise.

Phases d'avancement	Méthode par géodification	Méthode par laserscanner	Remarques
Prise de connaissance du mandat, entretien avec le mandant sur les objectifs souhaités	(3 h)	(3 h)	Ceci est une estimation du temps d'une séance avec le mandant afin de finaliser proprement le mandat.
Planification, préparation de l'intervention	(1 h)	(1 h)	Ceci est une estimation du temps de préparation qui devrait normalement être prise en compte
Déplacement aller- retour sur site	(2 x N)	(N)	Cet aspect est nécessaire à prendre en compte dans tout travail géométrique. Il n'a pas été évalué. En effet, tout le matériel est resté sur le site de mesure. A savoir que pour ce test concret, il a fallu 2 jours avec la méthode par géocodification. Un jour seulement serait nécessaire avec le laser scanner

Mise en place d'un réseau de points de référence et géoréférencés	3 h	2 h	Il est également nécessaire de mettre en place des points de référence géoréférencés pour la méthode par laser scanner. Il y en a légèrement moins que pour la méthode de géocodification et où il est impératif de faire preuve de minutie à l'intérieur du bâtiment.
Mesures sur site	13 h	6 h	Il est nécessaire de réaliser tout de même au moins une station par pièce pour le laser scanner, ce qui est également le cas pour la méthode de géocodification. Cependant, la prise de mesures par scanner laser est plus rapide.
Correction des fautes sur la feuille de terrain.	0.5 h	-	Il ne devrait normalement pas y en avoir avec la méthode par laser scanner en raison du nombre de points à mesurer à la station totale ou au GNSS relativement faible.
Calcul des points de référence par compensation rigoureuse	(4 h)	(2 h)	Le volume de points mesuré à la station totale est plus conséquent avec la méthode de géocodification. De plus, il est nécessaire de rajouter la géocodification après calcul des coordonnées, ce qui n'est pas le cas pour la méthode par laserscanner.
Phase 1 : (Construction de la	maquette)		
Etablissement des pièces et corrections	4 h	à 10 timent	
Construction manuelle	4 h	il faut prévoir entre 5 a e pour mesurer le bât : s / 10 x 8 = 80 heures	Il s'agit de deux balcons, de la toiture et d'un escalier. À noter qu'en raison de la difficulté à réaliser cette étape, le temps passé est difficilement quantifiable. Le même travail est à opérer pour la méthode au laser scanner.
Etablissement du rapport photos	1.5 h	Pour cette méthode, fois le temps nécessair 5 x 8 = 40 heures	Pour réaliser le code, il a fallu une demi-journée (4 h), mais une fois qu'il est créé, le rapport se génère très rapidement et facilement. Il n'y a normalement pas de rapport photos pour la méthode avec le scanner laser.

Transmission des données à l'architecte avec petit rapport des spécialités à prendre en compte	1 h		Cette opération n'est normalement pas réalisée dans la méthode par laser scanner car les murs seront peut-être directement construits avec la bonne épaisseur. Toutefois, l'architecte devra quand même retravailler les murs en fonction de leurs caractéristiques.
Phase 2 : (Construction de la	maquette)		
Téléchargement des familles d'éléments.	(1.5 h)		Cette phase ne devrait pas être comptabilisée dans les heures. Il suffit de télécharger une fois un grand nombre de familles pour chaque objet, afin de créer sa propre bibliothèque et de les réutiliser.
Génération des portes et contrôle visuel et nomencalture	1.25 h		
Génération des fenêtres et contrôle visuel et nomencalture	1.25 h		
Génération des ouvertures et contrôle visuel et nomencalture	0.75 h		
Génération des prises et contrôle visuel et nomencalture	1.25 h		
Transmission des données à l'architecte avec petit rapport des spécialités à prendre en compte	1.5 h		
Total des heures	33 heures	Min: 48 heures / Max: 88 heures	
Total des heures (avec phases non réalisées)	(42.50 heures)	(Min: 54 heures / Max: 94 heures)	

14.3. Améliorations et perspectives

Ce sous-chapitre se consacre aux améliorations potentielles de ce travail de Master. De nombreuses opportunités d'amélioration peuvent être envisagées, que ce soit dans le développement des programmes, l'affinage des géocodifications, ou encore une implication accrue de l'architecte dans le processus d'élaboration de la maquette.

Géocodification :

En ce qui concerne la géocodification élaborée, il semble y avoir peu d'améliorations à apporter à cette partie. Les codifications facilitent la réalisation de la maquette avec simplicité. Il est toutefois crucial d'avoir de la discipline lors des mesures sur place pour éviter des oublis. Dans le cadre de la réflexion menée dans ce travail, une amélioration potentielle consisterait peutêtre à développer une troisième méthode pour mesurer les pièces. Les deux méthodes actuelles ne permettent pas de mesurer une pièce avec plus de quatre murs et ayant un angle non mesurable. Ce type de configuration peut être assez fréquent. Il serait donc intéressant de penser à une nouvelle méthode qui résoudrait ce problème. Actuellement, pour surmonter cette imperfection, il est nécessaire de calculer séparément le point manquant et de l'ajouter aux listings de coordonnées. Si cette étape peut être évitée, la construction de ce type de pièce pourrait être réalisée de manière plus efficace.

Programmation :

Concernant la programmation, au total 5 outils ont été développés sur Dynamo et 1 sur du code Python. Ils sont les suivants :

- Outil pour les pièces (Dynamo)
- Outil pour les portes, fenêtre et les ouvertures (Dynamo)
- Outil pour les éléments ponctuels (Dynamo)
- Outil pour le contrôle visuel (Dynamo)
- Outil pour les éléments sphériques pour le rapport photo (Dynamo)
- Outil pour le rapport photos (Python)

Les programmes sur Dynamo fonctionnent de manière à réaliser la maquette numérique. Cependant, en examinant les détails des programmes dans les annexes, il y a une certaine redondance dans le code. Des parties identiques du code se retrouvent à plusieurs reprises, ce qui ne correspond pas nécessairement aux meilleures pratiques de programmation. Cependant, l'objectif principal était de créer la maquette à l'aide de la programmation, ce qui a été réalisé.

Programme des portes fenêtres et ouverture, éléments ponctuels :

Concernant les programmes dédiés à l'ajout d'éléments aux pièces, il a été nécessaire d'ajuster la taille de la sphère qui intersecte les murs presque à chaque lancement de ces outils. C'est peut-être l'imperfection la plus problématique de ces outils. Pour remédier à ce problème, une modification des outils pourrait être envisagée :

- Conserver une sphère suffisamment grande pour qu'elle intersecte tous les murs recherchés même si elle en touche d'autres.
- En cas d'intersection avec deux ou plusieurs murs, définir la distance perpendiculaire (la plus courte) entre la sphère et les murs, puis sélectionner le mur ayant la distance la plus petite. Ainsi, seul le mur le plus proche du point serait sélectionné, ce qui devrait normalement être le cas pour l'ensemble des éléments crées.

De plus, il faut être attentif quand il y a plusieurs éléments identiques sur la même face de mur. Le programme prend la dimension du premier élément pour les deux éléments du mur. Il faut alors modifier manuellement le deuxième.

Concernant l'outil générant les éléments ponctuels, il serait nécessaire de travailler sur l'import des éléments. Ils sont déjà aux bonnes coordonnées, c'est un bon point, mais il serait souhaitable qu'ils soient dans le bon sens. Il faudrait peut-être retravailler un peu les propriétés des éléments après avoir été générés par un autre logiciel que Dynamo qui corrigerait ces imperfections. À noter qu'il serait également intéressant de tester avec d'autres objets tels que des lumières par exemple. Car dans un test réalisé en début d'élaboration du programme, des lumières rondes murales avaient parfaitement épousé les murs verticaux. Il s'agit donc peutêtre d'une différence entre différents éléments ponctuels à adapter de cas en cas.

Programme pour les éléments sphériques pour aide au rapport photos :

Au sujet du programme Dynamo dédié aux éléments appuyant le rapport photos, l'outil fonctionne parfaitement. Une amélioration possible serait peut-être la création d'un objet BIM sphérique dédié uniquement à cet usage. Actuellement, l'objet BIM utilisé est une lumière, ce qui signifie qu'il fera partie de la nomenclature des lumières, ce qui n'est peut-être pas la solution la plus propre. Il pourrait être préférable de créer un nouvel objet BIM spécifique représentant simplement une sphère dans une nouvelle famille appelé par exemple éléments de contrôles. Toutefois elle reste facilement recherchable car elle est nommée avec un texte « Contrôle » dans la famille de l'objet, facilitant ainsi sa recherche.

Processus entre architecte et le fournisseur de la maquette numérique :

Pour finir, il est possible peut-être d'améliorer le processus entre l'architecte et le générateur de la maquette. Une proposition serait de collaborer directement avec l'architecte pour qu'il fournisse les bonnes familles d'éléments selon le type d'objet mesurés. Actuellement, l'opérateur génère des éléments pour différents types de portes, fenêtres, objets ponctuels, etc., en utilisant des familles téléchargées sur internet. L'idée serait que, lors de la phase 1 où la maquette numérique est transférée pour modifier les murs des pièces, l'architecte analyse en même temps les types de portes, fenêtres, objets ponctuels qui ont été repérés par l'opérateur à l'aide du rapport photos et du carnet de terrain. Ainsi, l'architecte pourrait fournir les familles d'éléments correspondantes aux types mesurés. Lors de la phase 2, il serait alors possible d'importer directement les familles fournies par l'architecte et de générer les éléments avec la bonne famille. L'architecte aurait ensuite à ajuster uniquement les métadonnées des objets générés. Cette approche simplifierait le processus et allégerait la tâche de traitement de l'architecte après la phase 2.

En cas de pièce complexe :

Il est possible qu'avec la méthode développée, il ne soit pas possible de générer ou de construire l'ensemble des pièces ou des objets souhaités par le mandant. Dans ce cas, il faut aussi être attentif au fait que nous mesurons les pièces avec une station totale qui est également munie d'un laser scanner intégré. Il n'est peut-être pas aussi rapide qu'un laser scanner dédié à cet effet, mais il peut très bien faire l'affaire en présence d'une situation délicate. Par exemple, s'il est nécessaire de mesurer les poutres apparentes sous une toiture, il serait alors possible d'utiliser le scanner intégré de l'appareil pour pallier cette situation. Ainsi, le nuage de points serait alors importé de la même manière que le traitement des objets manuel et les éléments seraient alors construits manuellement.

Pendant la réalisation de ce mémoire, la requalification de la place de la station totale dans le relevé du bâti a été sollicitée. Actuellement, certains éléments du bâtiment, tels que les façades et les toitures, sont mesurés avec cet instrument, et ils s'y prêtent bien. Après la conception de l'ensemble des chapitres de ce document, il est démontré que la station totale aurait probablement aussi un rôle à jouer dans l'élaboration d'une maquette numérique. En effet, la qualité de la maquette semble tout à fait optimale, et le temps nécessaire pour la créer est inférieur à celui reguis par la méthode utilisant un scanner laser.

Pour atteindre cet objectif, il est essentiel d'avoir une géocodification simple et rapide d'exécution sur place pour l'opérateur. En appliquant minutieusement les codifications élaborées pour chaque point mesuré, il sera alors possible de générer les éléments de base de la maquette numérique via une programmation adéquate. Les codifications élaborées sont simples et efficaces, ce qui s'avère crucial pour minimiser les erreurs sur le terrain. La topologie entre les éléments est soigneusement planifiée en collaboration avec la géocodification. De plus, la simplification des mesures est impérative pour assurer la compétitivité en termes de temps sur site, et la construction géométrique des éléments permet d'obtenir des murs et des éléments en façades parfaitement verticaux, ainsi que des sols et plafonds parfaitement horizontaux.

Le choix d'un logiciel permettant de construire une maguette numérique et qui permet de programmer s'est porté rapidement sur Revit, l'un des deux grands logiciels BIM sur le marché aujourd'hui. À l'aide de Dynamo, un outil de programmation intégré à Revit, il a été possible d'élaborer plusieurs programmes permettant d'automatiser certaines parties d'une maquette 3D. Grâce à ce logiciel de programmation, deux méthodes pour générer les éléments BIM d'une pièce ont été définies, incluant les murs, les sols et les plafonds. De plus, d'autres éléments tels que les portes, les fenêtres et les ouvertures ont également fait l'objet d'un outil permettant de les générer automatiquement. À noter qu'il est également possible de différencier ces objets par types, ce qui permet de classifier ces éléments à l'intérieur de la maquette. Ainsi, l'architecte en charge de constituer la maquette définitive peut alors directement sélectionner ces éléments selon leurs types et les modifier à sa guise. Toutefois, certaines parties n'ont pas pu être automatisées, nécessitant une création manuelle, comme c'est le cas pour les toitures, les balcons, les escaliers, etc. Il peut également arriver que certaines pièces ne puissent pas être traitées par les programmes développés. Dans ce cas, la pièce peut être relevée et construite manuellement avec l'aide de points caractéristiques mesurés. Il est important de noter que les stations totales modernes disposent également d'un scanner laser intégré permettant de géoréférencer directement le nuage de points dans le même système que les points mesurés individuellement. Cette méthode par laser scanner est parfaitement compatible avec l'ensemble des outils développés.

D'autres programmes ont également été créés à l'aide de Dynamo. Le premier est un outil permettant de visualiser les visées depuis la station totale jusqu'aux points mesurés. Dans l'avancement de ce travail de Master, cet outil a été indispensable pour visualiser si l'ensemble des éléments a été généré correctement par rapport aux mesures réalisées sur site faisant ainsi un contrôle de la modélisation.

En outre, un autre objectif était d'utiliser au mieux les fonctionnalités de la station totale moderne. La fonctionnalité qui s'est avérée la plus pertinente est la prise de photos de chaque point mesuré depuis la station totale, ce qui permet finalement de générer un rapport photos des points mesurés. Ainsi, l'architecte peut prendre connaissance des éléments mesurés en tenant compte de la position du point mesuré, de leur matière et de leur configuration (par exemple, le sens des portes). Ce rapport photos a été développé en langage Python, incluant

la photo et le texte de l'image. En complément, un outil a été élaboré sur Dynamo pour permettre d'identifier directement dans la maquette à quel point mesuré chaque photo appartient. Ainsi, l'architecte peut travailler de manière optimale dans l'élaboration de la maquette définitive.

Enfin, en termes d'apprentissage l'objectif de l'étudiant était de pouvoir s'immerger un peu plus dans cette technologie BIM qui n'est pas encore très répandue dans le monde des géomètres, notamment du point de vue de la modélisation. En une année, il a été possible de consacrer deux jours par semaine à ce domaine passionnant et en pleine expansion. Avec l'élaboration de ce travail, il semble que le géomètre ait un rôle à jouer dans l'élaboration des maquettes, notamment en fournissant les éléments de base à l'architecte dans un système parfaitement géoréférencé.

Lausanne, le 18 décembre 2023

Michael Willen

16. Références

- [1] Alpha-geo Ingénieurs et géomètres. Récupéré sur https://alpha-geo.ch/
- [2] Andreas Barmettler, D. H. (2021). Guide au "Use Case" géoréférencement (GeoRef). https://ucm.buildingsmart.org/use-case-details/2128/fr.
- [3] ArchiCAD. https://graphisoft.com/fr/.
- [4] Autodesk. Récupéré sur https://www.autodesk.com/
- [5] B. Cannelle, M. P. Questionnaire pour établissement d'une chaier des charges des objet à relever. Récupéré sur https://ucm.buildingsmart.org/use-case-details/2366/fr
- [6] Biblus. (2022, mars). Récupéré sur https://biblus.accasoftware.com/en/what-are-lod-and-loin-in-bim-andwhat-are-they-for/
- [7] Bimobject. Récupéré sur https://www.bimobject.com
- [8] Cannelle, B. (2022). FUN-BIM Cours MASTER HES-SO.
- [9] CFF. (2021). Document photo RSI. Récupéré sur Document photo RSI
- [10] Ctrl BIM. Récupéré sur https://ctrlbim.com/
- [11] Deya. Récupéré sur https://www.deya-pro.com/
- [12] Dynamo. Récupéré sur https://primer2.dynamobim.org/
- [13] ERP Services Etudes-Réseaux-Patrimoine. Récupéré sur https://www.erp-services.fr/
- [14] Faro. Récupéré sur https://www.faro.com/
- [15] Géopixel. Récupéré sur https://geopixel.fr/
- [16] INGEO Ingénierie Géomètre-Expert . Récupéré sur https://www.ingeo.fr/immobilier-building-informationmodeling-bim/
- [17] Leica Geosystems. Récupéré sur https://www.leica.com/
- [18] Maison Creativ. Récupéré sur https://maisonscreativ.com/
- [19] Odum Digital. Récupéré sur https://www.odum.digital/en/ecosystem/building-information-modeling-bim/
- [20] OpenBim. Récupéré sur Openbim.fr
- [21] Smart, B. D. (2018). BIM Workbook Aide à la conception et la planification avec la méthode BIM.
- [22] Trimble. Récupéré sur https://www.trimble.com/en
- [23] Valente, C. Bim&Btp. Récupéré sur https://bimbtp.com/tag/chantier/
- [24] Vincendon, O. (2021). Cours sur le BIM au Master HES-SO . Direction de l'Information du Territoire de Genève.
- [25] Wallonie-Bruxelles Architectures. Récupéré sur https://wbarchitectures.be/

Les annexes se trouvent dans le document spécifique des annexes rendu avec ce rapport.

ANNEXES TECHNIQUES

- Annexe A. Questionnaire pour établir un cahier des charges
- Annexe B. Questionnaire des objets à relever
- Annexe C. Guide au géoréférencement
- Annexe D. Mode d'emploi de codification
- Annexe E. Outil : Pièces par intersections de plans
- Annexe F. Outil : Pièces par translation verticale
- Annexe G. Outil : Portes, fenêtres et ouvertures
- Annexe H. Outil : Objets ponctuels
- Annexe I. Outil : Contrôle visuel
- Annexe J. Rapport photos PDF Python
- Annexe K. Outil : Eléments photos
- Annexe L. Calculs des coordonnées par l'instrument SX 10

RENDU INFORMATIQUE

Le rapport du travail de Master en format PDF

(Willen_Rapport_MDT_HES-SO_TM_2023-2024.pdf)

Le rapport des annexes techniques en format PDF

(Willen_Annexes_MDT_HES-SO_TM_2023-2024.pdf)

Maquette numérique du test concret en format Revit 2024 (Maquette_finale.rvt)

Maquette numérique du test concret en format IFC (Maquette_finale.ifc)

Rapport photos de la maquette en format PDF (*Rapport_photos.pdf*)

Outil des pièces par intersections de plans et pas translation verticale en format Dynamo *(Outils Pieces.dyn)*

Outils des portes, fenêtres et ouvertures en format Dynamo

(Outil_Portes.dyn / Outil_Fenetres.dyn / Outil_Ouvertures.dyn)

Outil des objets ponctuels en format Dynamo (Outil_Objet_ponctuel.dyn)

Outil pour le contrôle visuel en format Dynamo (Outil_Controle_visuel.dyn.dyn)

Outil pour les éléments photos en format Dynamo (Outil_Photos.dyn)

Nœud personnalisé se retrouvant dans presque tous les programmes Dynamo (automatic.dyf)

Rapport photos en format python (*Rapport_photos_Python.py*)