



HAL
open science

Création automatique d'une maquette numérique 3D d'un bâtiment à partir d'un relevé scanner laser 3D

Maxime Renaud

► **To cite this version:**

Maxime Renaud. Création automatique d'une maquette numérique 3D d'un bâtiment à partir d'un relevé scanner laser 3D. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2016. dumas-01811031

HAL Id: dumas-01811031

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01811031v1>

Submitted on 8 Jun 2018

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

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

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS
ÉCOLE SUPÉRIEURE DES GÉOMÈTRES ET TOPOGRAPHES

MÉMOIRE

présenté en vue d'obtenir
le DIPLÔME D'INGÉNIEUR CNAM

Spécialité : Géomètre et Topographe

par

Maxime RENAUD

**Création automatique d'une maquette numérique 3D d'un bâtiment à
partir d'un relevé scanner laser 3D**

Soutenu le 06 juillet 2016

JURY

PRESIDENT : Madame Élisabeth BOTREL

**MEMBRES : Monsieur Cédric PETITJEAN
Monsieur Jérémie ROBERT
Monsieur Denis LE ROUX
Monsieur François PICHON
Monsieur Cyril THOMAS**

**Maitre de stage
Professeur référent**

Remerciements

Ce Travail de Fin d'Étude a été rendu possible grâce à l'accompagnement et à l'aide de nombreuses personnes dont j'ai pu bénéficier.

Je remercie en premier lieu mon maître de stage, Cédric Petitjean, Responsable du Service Topographique de Campenon Bernard Topographie de m'avoir offert l'opportunité de réaliser ce projet. Son aide et ses précieux conseils m'ont permis d'avancer tout au long de ce travail.

Je souhaite également remercier l'ensemble du service et tout particulièrement les membres du pôle itinérant Julien FARDEL-BRIOT, Thomas LEMAN, Kéving SEGOT ainsi que Sophie DUBOIS, secrétaire. L'accueil chaleureux et convivial ainsi que leur sympathie m'ont permis d'effectuer mon stage dans les meilleures conditions.

Je tiens également à remercier Jérémie ROBERT, professeur référent pour son aide et ses conseils apportés à l'élaboration de ce rapport durant les cinq mois de stage.

Un grand merci à mes camarades de l'ESGT pour les bons moments passés ensemble. Merci également pour les discussions que nous avons eu avec certains sur notre sujet commun et qui m'ont permis d'apporter une autre vision à mon travail

Mes plus vifs remerciements à Vianney DEAL et Frédéric LATHUILIERE, Géomètre-Expert associé au cabinet Adage pour m'avoir transmis le goût et la passion pour ce métier.

Enfin, je remercie mes parents, ma sœur, ma famille et amis de m'avoir soutenu et encouragé durant ces années d'études.

Liste des abréviations

API : Application Programming Interface

BIM : Building Information Modelling

CBR : Campenon Bernard Regions

CBT : Campenon Bernard Topographie

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

DAO : Dessin Assisté par Ordinateur

DOE : Dossier des ouvrages Exécutés

ESTP : Ecole Spéciale des Travaux Publics, du Bâtiment et de l'Industrie

IDE : Integrated Development Environment (Environnement de Développement)

PME : Petite et Moyenne Entreprise

SDK : Software Development Kit

SVD : Décomposition en valeurs singulières

TFE : Travail de Fin d'Etude

TPE : Très Petite Entreprise

UNTEC : Union Nationale des Economistes de la Construction

VCF : Vinci Construction France

Glossaire

BIM Manager : Personne au centre des interactions d'un projet. Il coordonne l'ensemble de la construction et des acteurs impliqués. Il est indispensable lorsqu'une maquette numérique est créée.

Bruit dans un nuage de points 3D: Phénomène ayant des causes multiples (réflectivité des surfaces, l'angle d'incidence du faisceau laser..). Il se traduit par une mauvaise représentation de la réalité avec la présence de points indésirables.

Cluster d'entreprises : Aussi appelé pôle de compétitivité, il permet de regrouper plusieurs entités pour favoriser la recherche et le développement.

Fichier .las : Format utilisé pour les données LIDAR. Il contient les coordonnées 3D des points ainsi que des métadonnées.

Implémentation : Utilisé en informatique, il désigne la création d'un produit à partir d'un document de conception. Dans notre cas, il s'agit d'un environnement (IronPython) qui permet l'exécution des scripts écrits dans un langage de programmation (Python).

Interopérabilité : capacité d'un produit ou d'un système à communiquer avec d'autres produits existants ou futurs sans restriction d'accès.

LIDAR (LIght Detection And Ranging) : technique de mesure à distance basée sur les propriétés de propagation d'un faisceau de lumière.

Macro : terme utilisé pour désigner la mémorisation d'un enchaînement de tâche réalisé dans un logiciel.

Orthophoto : désigne dans ce rapport une projection orthogonale du nuage de points.

Plug-in : module d'extension qui apporte de nouvelles fonctionnalités dans le logiciel hôte.

Programmation orientée objet : un objet peut représenter un mélange de variables et de fonctions. Il s'agit de les représenter ainsi que leurs relations.

Pseudo-code : permet de traduire un algorithme avec un vocabulaire simple, sans spécificité à un langage de programmation.

Visual Basic : langage de programmation informatique développé par Microsoft.

Voile : terme utilisé dans le domaine du bâtiment pour définir un mur.

Table des matières

Remerciements.....	2
Liste des abréviations.....	3
Glossaire	4
Table des matières.....	5
Introduction.....	7
I BUILDING INFORMATION MODELING.....	9
I.1 ÉTAT DE L'ART DU BIM	9
I.1.1 Définition.....	9
I.1.2 Les enjeux du BIM	9
I.1.3 La maquette numérique	11
I.1.4 Le format d'échange : l'IFC	11
I.1.5 Les différents niveaux du BIM.....	12
I.1.6 Naissance du Pseudo-BIM.....	12
I.2 ÉTAT DES LIEUX DE SON UTILISATION	13
I.2.1 À l'international.....	13
I.2.2 En France.....	13
I.2.2.1 Législation en vigueur	14
I.2.2.2 Implication des entreprises.....	14
I.3 LE BIM EN RÉHABILITATION.....	15
I.3.1 Utilisation	15
I.3.2 Limites actuelles.....	15
I.3.3 Les évolutions envisagées	16
II EXPLOITATION DES DONNÉES 3D.....	17
II.1 LES LOGICIELS DE TRAITEMENT DE NUAGES DE POINTS 3D	17
II.1.1 3D Reshaper	17
II.1.2 RealWorks	18
II.1.3 Cyclone.....	19
II.1.4 Scene.....	19
II.1.5 Recap Pro.....	20
II.1.6 Choix d'un logiciel de traitement	21
II.2 LES LOGICIELS DE MODÉLISATION 3D	22
II.2.1 AllPlan.....	22
II.2.2 ArchiCAD.....	22
II.2.3 Autodesk.....	23
II.2.3.1 AutoCad Architecture.....	23
II.2.3.2 Revit	23
II.2.4 SketchUp	24
II.2.5 Choix d'un logiciel de modélisation.....	24
III LES SOLUTIONS D'AUTOMATISATION DISPONIBLES	25
III.1 OUTILS COMPATIBLES AVEC REVIT	25
III.1.1 Point Sense de Kubit (version 16).....	25
III.1.2 Virtusurv	26
III.1.3 Scan to Bim d'Imaginit.....	27
III.1.4 EdgeWise BIM de ClearEdge3D.....	28
III.2 DÉVELOPPEMENT DE SOLUTION PERSONNELLE	29
III.2.1 Création de macro.....	29
III.2.2 Création de Plug-in	30

III.2.3	Différences entre macro et Plug-in.....	31
III.2.4	Autres solutions	31
III.2.4.1	Dynamo	31
III.2.4.2	Autodesk Labs	31
III.3	CHOIX D'UNE SOLUTION DE DÉVELOPPEMENT	32
IV	DÉVELOPPEMENT D'UNE SOLUTION D'AUTOMATISATION.....	33
IV.1	SEGMENTATION DU NUAGE.....	33
IV.1.1	Segmentation par agrégation de points.....	33
IV.1.2	Segmentation par histogramme	34
IV.1.3	Segmentation par reconnaissance automatique de formes géométrique	35
IV.1.3.1	Hough	35
IV.1.3.2	RANSAC (RANdom SAmple Consensus)	35
IV.1.4	Méthode choisie pour la détermination de plan	36
IV.2	ECRITURE DE L'ALGORITHME	37
IV.2.1	Solution envisagée.....	37
IV.2.2	Segmentation horizontale : détermination des niveaux du sol et du plafond	38
IV.2.2.1	Seuillage par histogramme	38
IV.2.2.2	Utilisation de Ransac	39
IV.2.3	Segmentation verticale : détermination des plans verticaux	40
IV.3	ADAPTATION DU PROGRAMME DANS REVIT	42
IV.3.1	Export des éléments détectés	42
IV.3.2	Intégration dans Revit.....	43
V	RÉSULTATS	44
V.1	VARIATIONS DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES.....	44
V.1.1	Variations de la distance de validation	45
V.1.2	Variations du nombre d'itérations	46
V.1.3	Variations de la taille minimale des murs	47
V.2	QUALITÉS DES RÉSULTATS.....	48
V.2.1	Comparaison avec Autocad.....	48
V.2.2	Comparaison avec l'outil CloudCompare	49
V.2.3	Comparaison avec d'autres données.....	50
V.3	AMÉLIORATION POSSIBLES	51
V.3.1	Ajustement automatique des murs.....	52
V.3.2	Création des murs	52
V.3.3	Détection des ouvertures	53
V.3.4	Améliorations des procédures d'acquisitions	53
	Conclusion	54
	Bibliographie.....	56
	Liste des figures	58
	Liste des tableaux.....	59
	Table des annexes	60
	Annexe 1 Organigramme VINCI.....	61
	Annexe 2 Organigramme Direction Déléguée Infrastructures Centre-Est	62
	Annexe 3 Organigramme RANSAC classique	63
	Annexe 4 Organigramme Ransac modifié pour la détection de mur vertical.....	64
	Annexe 5 Tableau de comparaison de points	65
	Annexe 6 Guide de l'utilisateur du Plug-in	66

Introduction

Le monde du bâtiment et des travaux publics connaît des évolutions majeures depuis quelques années. Notamment avec l'intégration d'outils numériques pour la conception et la réalisation des ouvrages. Dans le but d'améliorer la gestion des projets, l'utilisation du BIM s'est développée. Ce processus collaboratif implique la création d'une maquette 3D intelligente représentant la structure et les caractéristiques de l'ouvrage. A l'heure actuelle, il s'inscrit majoritairement dans les constructions neuves et tend à devenir un standard dans le domaine de la réhabilitation. Ce type de chantier est en développement compte tenu du prix du foncier et des faibles terrains disponibles en ville.

Les échanges des acteurs du BIM s'articulent autour de la maquette numérique. Afin d'avoir les moyens de la réaliser dans le cadre d'une réhabilitation, le relevé de l'existant est effectué. En effet, les plans disponibles sont généralement non mis à jour voire inexistant. Les techniques de mesures 3D sont mises en place à travers l'utilisation d'un scanner laser 3D. L'exhaustivité et la précision des données collectées permettent de constituer une base solide et complète pour procéder à la modélisation de bâtiments.

Campenon Bernard Topographie est le service topographique de Campenon Bernard Régions, filiale de Vinci Construction France. CBR est intégré dans la Direction Déléguée Infrastructures Centre-Est. Cette dernière fait elle-même partie de la Direction Opérationnelle Travaux Publics, Génie Civil et métiers de spécialités associées. L'ensemble de l'organigramme est disponible en **Annexe 1 et 2** afin d'améliorer la compréhension concernant la place du service au sein de Vinci.

Spécialiste dans les ouvrages d'art et le nucléaire, le service est composé de 8 géomètres (5 techniciens et 3 ingénieurs) ainsi que d'une assistante. Il est basé dans la région Rhône-Alpes mais intervient dans la France entière. Il possède à son actif des chantiers de grandes envergures, notamment la tour Odéon à Monaco, le Parc Olympique Lyonnais ou encore la Caverne du Pont d'Arc en Ardèche. Une nouvelle activité est également en plein essor. En effet, les interventions pour relever l'existant dans le cadre de chantier de réhabilitation de bâtiment se multiplient. La taille des chantiers est plus ou moins importante, elle peut s'étendre jusqu'à plus de 10 000 m², pouvant représenter 2000 positions de numérisation. Les besoins de solutions pour simplifier la modélisation et la création de maquette numérique sont donc grandissants.

L'acquisition des données 3D et l'assemblage des scans sont des éléments parfaitement maîtrisés. Le but de ces relevés est bien entendu la création de plans 2D ou 3D. Actuellement, le service réalise les plans avec le logiciel AutoCad de la firme Autodesk à partir d'une coupe du bâtiment relevé. Le dessin ou la modélisation passe donc par la 2D. Il s'agit d'une étape longue et fastidieuse. De plus, les données issues du scanner laser sont peu utilisées. En effet, les informations d'intensité, les photos prises lors du relevé ou encore le nuage de points interviennent seulement lorsque l'interprétation sur l'orthophoto est difficile.

Dans le but de réduire au maximum cette étape fastidieuse que constitue la modélisation à partir d'un nuage de points, CBT cherche un moyen d'automatiser cette étape ou tout du moins, de la simplifier.

L'objectif est donc de développer une solution permettant la création automatique de plan 3D et donc 2D. Cela implique la détection de plans, de murs, la jonction entre ces éléments ainsi que les différentes ouvertures. Dans un premier temps, notre étude se limitera à la reconnaissance et la détection des plans horizontaux (sols et plafonds) et des verticaux (murs).

Le présent rapport se subdivise en deux chapitres. Le premier constitue l'état de l'art du BIM et des solutions disponibles permettant la création de la maquette numérique associée. Dans le second, nous étudierons en détail la solution d'automatisation développée durant la durée du TFE.

Nous verrons donc dans une première partie ce qu'est le BIM. Puis les différents outils disponibles pour l'exploitation de données 3D, nous aborderons les logiciels de traitement de nuage de points ainsi que les logiciels de modélisation. Suite à cette étude, des choix logiciels seront effectués. Une troisième partie présentera les solutions d'automatisation disponibles dans ces derniers.

Ensuite, nous aborderons le développement de la solution d'automatisation développée à travers son algorithme et son intégration dans un logiciel de modélisation. Enfin, nous finirons par une étude des résultats obtenus afin de quantifier la qualité de ces derniers et les améliorations possibles.

I Building Information Modeling

I.1 État de l'art du BIM

I.1.1 Définition

De nos jours, le BIM est en pleine expansion. De nombreuses entreprises souhaitent le pratiquer sans pour autant connaître sa signification. C'est pourquoi il est primordial de le définir. Toutefois, il n'existe pas de définition unanime et le concept peut parfois paraître flou.

L'acronyme BIM a plusieurs significations, ce qui est source de confusion. On distingue :

- Building Information Modeling : Processus métier caractérisé par l'interopérabilité et la collaboration de l'ensemble des intervenants. Les échanges sont réalisés autour d'une ou plusieurs maquettes numériques et permettent la gestion d'un bâtiment pour sa conception, sa construction, son entretien durant sa durée d'exploitation ainsi que sa déconstruction.
- Building Information Model : Représentation numérique géométrique en 3D couplée à un ensemble d'informations structuré d'un bâtiment.
- Building Information Management : Gestion du projet et des échanges d'informations, intervention du BIM Manager.

D'une manière générale, le mot BIM est utilisé dans le sens de sa signification première : « **Building Information Modeling** », se traduisant par Modélisation des Informations du Bâtiment. C'est la définition retenue dans ce mémoire. Il regroupe les trois notions¹ suivantes :

- Une maquette numérique et sa base de données ;
- Une structuration des données ;
- Une gestion des flux d'informations.

I.1.2 Les enjeux du BIM

Le BIM est vécu comme une révolution dans le domaine de la construction. Les nombreux intervenants de ce secteur collaborent peu ensemble. Les échanges d'informations entraînent parfois des pertes ou des informations erronées entre les différentes phases du projet. Une construction est donc un projet qui s'avère généralement long et coûteux.

Les objectifs du BIM sont multiples. Le travail collaboratif en est la base fondamentale. Cette interaction entre les acteurs permet une rationalisation des échanges, une unicité des documents et par conséquent une pérennisation ainsi qu'une fiabilisation de l'information. Ces éléments permettent une meilleure gestion du projet et limitent les risques de désagréments liés à une mauvaise organisation ou communication entre les différents intervenants.

¹ Notions évoquées par Olivier MINOT lors de la conférence BIM et cadastre 3D, Cercle Géo 2015

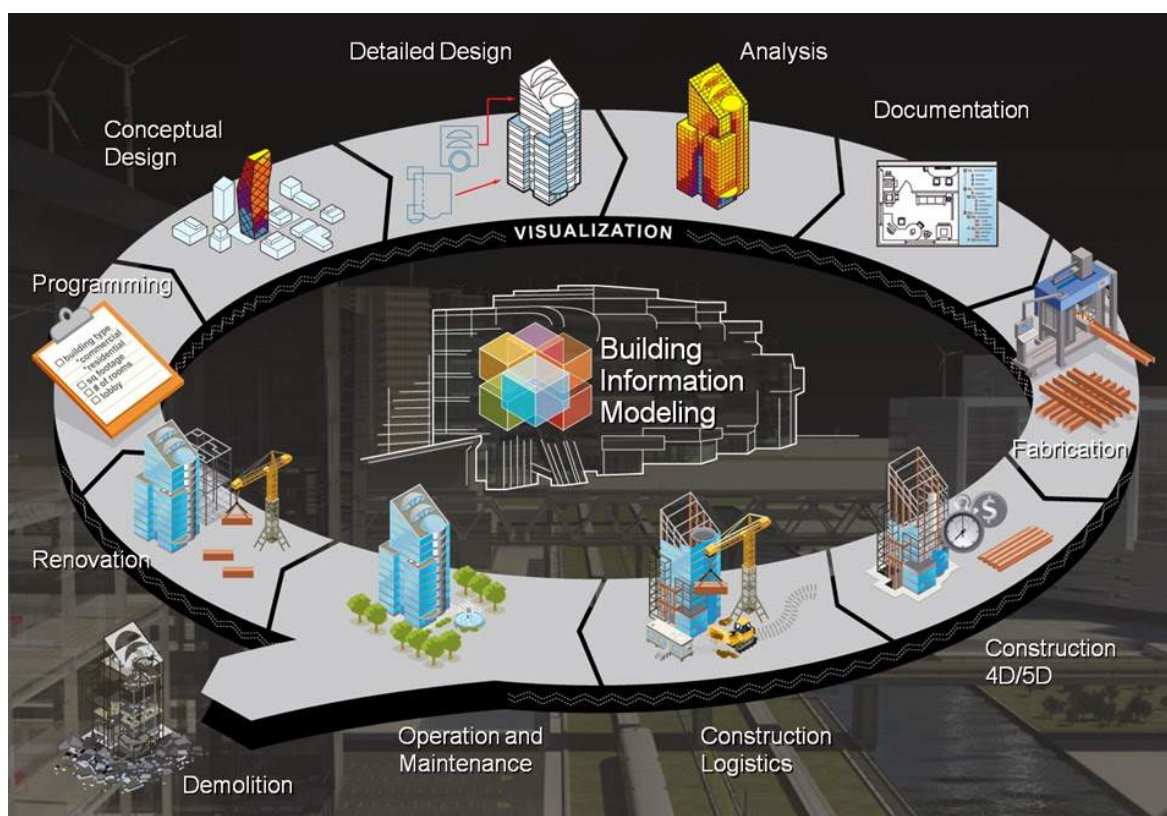


Figure 1 : Cycle de vie d'un bâtiment en BIM (Source : buildipedia.com)

La figure ci-dessus illustre toutes les phases où le BIM intervient. Il permet de suivre la vie du bâtiment. C'est une véritable « carte d'identité ». Il constitue un historique des différentes opérations effectuées, modifications et réparations réalisées.

Un autre avantage important est le coût de construction. De nombreux problèmes sur les chantiers sont liés à des changements effectués sur le plan et non communiqués, ce qui implique des adaptations ou dans le pire des cas des reconstructions. Le géomètre y est d'ailleurs confronté. Lors des chantiers de constructions, il est appelé à matérialiser différents éléments, notamment les fondations et les axes de murs. Les plans qui lui sont communiqués sont parfois des anciennes versions. L'intérêt du BIM manager est donc réel.

En évitant ces problèmes, certains spécialistes annoncent une économie allant jusqu'à 20% du coût de construction. Ces nouvelles méthodes intègrent une réduction des émissions de gaz à effet de serre et du gaspillage, ainsi qu'une amélioration de la qualité des constructions. De plus, la meilleure gestion du planning permet d'éviter les attentes de certains corps de métier. Il s'agit de construire d'une manière raisonnée et écologique.

Le BIM doit permettre également une meilleure réflexion préalable du projet pour anticiper d'éventuels problèmes. L'avantage indéniable du BIM est de pouvoir construire avant de construire. Le DOE sera alors conforme au bâtiment tel que construit si la maquette numérique 3D intelligente est renseignée pendant la construction. La qualité des ouvrages réalisés et leur traçabilité s'en trouve grandement améliorée.

I.1.3 La maquette numérique

La maquette numérique est un élément indispensable et possède une place primordiale dans le BIM. Cependant, il est important de faire la distinction entre BIM et maquette numérique, comme nous l'avons défini précédemment. Une maquette numérique ne peut être associée à ce processus seule. Le partage des informations et la collaboration sont également nécessaires.

De plus, ce n'est pas seulement une simple représentation géométrique 3D d'un bâtiment ou d'une infrastructure. L'aspect sémantique est important et indispensable avec une base de données renseignant les différentes propriétés et caractéristiques des éléments présents. C'est une représentation physique et fonctionnelle de l'ouvrage.

Tous les acteurs du projet doivent enrichir cette base de données afin d'obtenir toutes les informations nécessaires durant les différentes phases de conceptions, de réalisations et de suivis de l'ouvrage. L'objectif d'une maquette numérique intégrée dans un processus BIM est d'être mise à jour pour posséder un modèle numérique réel du bâtiment existant.

La différence avec un simple modèle 3D réside également dans l'interaction entre l'ensemble des éléments, dans un fichier unique. En effet, les modifications réalisées sur un élément entraînent une mise à jour des objets attachés. Le déplacement d'un mur engendre le mouvement des ouvertures (portes, fenêtres...) qui y sont placées.

Les informations contenues dans la base de données sont d'une grande importance. Elles permettent, par exemple, d'évaluer au plus juste les quantités de fournitures nécessaires à la construction et de calculer les coûts correspondants.

I.1.4 Le format d'échange : l'IFC

Dans le but de faciliter les échanges et la collaboration entre les intervenants et assurer l'interopérabilité, l'OpenBIM a été créé, à l'initiative de BuildingSmart international. En France, l'association porte le nom de Medi@construct. Ce concept assure l'interopérabilité entre les applications des acteurs du bâtiment grâce à un format d'échange : l'Industry Foundation Classes (IFC). Il a été créé en 1997 et se décline sous plusieurs versions. Il a la particularité d'être standard et neutre.

Il permet de décrire les objets, les caractéristiques et également les relations avec les autres objets. Son orientation objet permet une compatibilité optimale avec les logiciels métiers et la conservation des attributs des différents composants d'un BIM. Il apporte un gain de du temps grâce à des échanges accélérés et une suppression des tâches redondantes. Des erreurs sont évitées avec la communication électronique. Il en découle des maquettes de meilleure qualité.

L'IFC s'est imposé comme un standard international en devenant une norme ISO. C'est également le seul format suffisamment développé disponible pour le BIM. La plupart des applications BIM utilisées actuellement importe et exporte des IFC. Malgré tout, les dernières versions ont du mal à s'imposer. L'utilisation de ce format dans les logiciels de modélisation n'est pas toujours fiable.

I.1.5 Les différents niveaux du BIM

Le BIM existe à différents degrés de maturité, communément appelés niveaux de BIM ou encore Level of BIM. Ils représentent les différentes étapes pour arriver au modèle BIM final espéré par tous : une seule et unique maquette numérique partagée. Il faut les distinguer des niveaux de détails, connus sous le nom de LoD (Level of Detail) qui définissent la représentation des éléments du modèle.

	Travail isolé		Travail collaboratif	
Niveau de BIM	Niveau 0 DAO classique	Niveau 1 DAO avec ouverture 3D	Niveau 2 BIM	Niveau 3 iBIM
Caractéristiques	Plans papier ou DAO	Plans DAO 2D ou 2,5D (voire 3D isolé)	Maquette numérique échangée dans une ou plusieurs directions	Maquette numérique partagée sur serveur ou plateforme Cloud

Tableau 1 : Les quatre niveaux de BIM existants

Le niveau 2 représente la norme dans certains pays où la législation rend l'utilisation du BIM obligatoire (**Cf Partie I.2.1**). On observe alors les premiers échanges de maquettes numériques. Ces différents niveaux permettent de définir les attentes auxquelles doivent répondre les professionnels pour respecter les exigences BIM fixées.

Le niveau 3 n'existe pas à l'heure actuelle, dans aucun pays. Il est caractérisé par le partage d'une seule et unique maquette. Les échanges et l'interactivité sont donc très efficaces.

I.1.6 Naissance du Pseudo-BIM

Ce concept, défini sur le site de bimthinkspace.com est assez récent. C'est une conséquence directe, et une dérive, de l'engouement actuel pour la pratique du BIM. Il est constitué de plusieurs niveaux.

Le terme de Pseudo-BIM est utilisé lorsque les revendications BIM d'un individu sont supérieures à ses compétences. Cette exagération peut être involontaire. Étant donné la multitude de définitions du BIM, il est parfois difficile de savoir si nous avons les compétences requises ou non pour le pratiquer. En l'absence d'une des trois notions évoquées il est possible de parler de Pseudo-BIM.

Mais il est plus courant que ces exagérations soient faites volontairement pour cacher les incompétences BIM. Cette pratique est préjudiciable pour les clients, les fournisseurs et surtout pour le projet. Les entreprises travaillent de manière traditionnelle sans profiter des réels avantages du BIM, mais en le promettant. Ce comportement est source de conflits et d'incompréhensions en termes de plans, de coûts et de délais.

I.2 État des lieux de son utilisation

I.2.1 À l'international

Le niveau d'adoption du BIM dans le monde est très hétérogène suivant les pays. On note tout de même un intérêt assez fort pour l'utilisation de ce processus et de nombreuses initiatives favorables à son adoption.

Les États-Unis, malgré leurs états fédéraux sont les précurseurs pour l'utilisation du BIM dans les marchés publics. Aujourd'hui, seulement quelques pays ont décidé de démocratiser le BIM en adoptant une législation adéquate et rendant son utilisation obligatoire pour les projets de grandes envergures.

Pays	Année	Observations
États-Unis	2003	Généralisation du BIM dans les programmes majeurs. L'IAI (devenue aujourd'hui BuildingSmart) a lancé le format IFC
Danemark Finlande Norvège	2007	Pionniers en Europe. Ils ont fortement contribué au développement du BIM
Singapour	2008	Objectif : 100% des chantiers réalisés en 2016 en BIM. Mise en place d'un fonds de financement pour les projets BIM
Hong-Kong	2014	Le BIM est désormais obligatoire pour tout projet de construction en marché public.
Corée du Sud Royaume-Uni	2016	Utilisation du BIM sur l'ensemble des marchés publics en 2016.

Tableau 2 : Liste des pays utilisant le BIM pour les marchés publics

Le développement du BIM dans ces pays a été possible grâce à une forte mobilisation du gouvernement et des acteurs de la construction. Des fonds de recherches ont également été mis en place, ainsi que des règles et des normes d'utilisation du BIM.

I.2.2 En France

La France est dans la course à l'adoption du BIM. Elle possède un léger retard qui s'explique par le fonctionnement de son mode contractuel. La maquette numérique n'est pas assez intégrée dans les démarches du maître d'œuvre, du maître d'ouvrage et lors du plan d'exécution des travaux. Consciente de l'intérêt du numérique dans le bâtiment, le BIM s'inscrit dans la politique actuelle de développement durable.

I.2.2.1 Législation en vigueur

En juin 2014, le gouvernement a lancé une mission sur le numérique appliqué au bâtiment. Bertrand DELCAMBRE² a été nommé Ambassadeur du numérique pour établir un état des lieux du système français pour les projets de construction. L'objectif était également d'identifier les axes de développements possibles et d'étudier la généralisation à l'utilisation des outils numériques par les acteurs du bâtiment.

Le rapport (Mission Numérique Bâtiment, 2014) dressé après six mois de travail indique quatre préconisations majeures :

- Encourager les maîtres d'ouvrages sur la voie du numérique dans le bâtiment ;
- Donner les moyens nécessaires au TPE/PME du bâtiment ;
- Développer des outils adaptés à un projet quelconque, peu importe sa taille ;
- Installer une confiance dans le monde du numérique français.

Suite à ces conclusions, le gouvernement a décidé de lancer, en décembre 2014 le Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment afin de sensibiliser les professionnels au déploiement des solutions numériques qui constituent l'avenir dans le domaine de la construction. Ce plan s'accompagne par une mobilisation financière de 20 M€. Tous les éléments sont donc réunis pour permettre une utilisation optimale des outils numériques disponibles pour les acteurs du bâtiment.

L'année 2017 devait être une année charnière. Les autorités publiques avaient envisagé de rendre obligatoire l'usage du BIM pour les grands projets soumis aux marchés publics. Cependant, il n'y aura pas d'échéance 2017 mais tout de même une forte incitation à son usage.

I.2.2.2 Implication des entreprises

A l'heure actuelle, les principaux acteurs concernés par le déploiement du BIM dans les nouvelles constructions sont les entreprises de grandes envergures telles que VINCI Constructions, Bouygues et Eiffage. Elles n'ont pas attendu une décision du gouvernement pour recourir à son utilisation. Ces compagnies possèdent les moyens financiers et humains nécessaires aux recherches de développement, ainsi que des projets d'envergures où le BIM a tout son intérêt.

VINCI l'a déjà utilisé en France pour des bâtiments, comme la Fondation Louis Vuitton à Paris mais aussi pour des infrastructures (Pont de l'Atlantique au Panama). D'ailleurs un pôle exclusivement dédié au BIM et aux technologies numériques a été créé. Son but est d'assurer une surveillance des avancées réalisées par les éditeurs de logiciels et de développer des standards pour VCF. La création de la maquette numérique est ainsi facilitée. Des prestations de services sont réalisées, elles consistent en la modélisation et l'assistance de projet. Des formations sont effectuées aux personnes travaillant avec VCF pour les sensibiliser à l'utilisation des outils numériques.

À terme, il sera également intéressant d'associer le BIM à tous les projets de constructions, quel que soit sa taille. Les PME et TPE n'ont pas forcément les moyens financiers pour utiliser les outils logiciels et matériels orientés vers une logique BIM.

² Sa nomination a été effectuée par le ministre du Logement et de l'Égalité des Territoires en poste en juin 2014 : Sylvia PINEL. Bertrand DELCAMBRE était auparavant président du CSTB

I.3 Le BIM en réhabilitation

I.3.1 Utilisation

Le BIM est majoritairement associé à des projets de constructions neuves. On parle alors de BIM « tel que conçu ». Or on constate que de nombreuses réhabilitations de bâtiments sont en cours. En effet, il est parfois intéressant d'exploiter à nouveau un ancien site. Cette opération devient souvent obligatoire dans les grandes villes où les terrains vierges sont devenus quasi-inexistants. On distingue donc le BIM « tel que construit ».

Par conséquent la pratique du « *Scan To BIM* » est en pleine évolution. Ce terme est utilisé dans les pays anglo-saxons. Il désigne le passage du relevé effectué avec un scanner laser 3D, capable de fournir un relevé rapide, précis et exhaustif de l'existant à un modèle 3D BIM. Des informations de surfaces ou de distances peuvent être déterminées à partir d'un seul et unique objet : le nuage de points. Tous les éléments peuvent être repérés sur le relevé effectué par le scan. L'exhaustivité permet de ne pas manquer d'informations lors de la réalisation des documents. Un oubli de mesure avec les méthodes de levées traditionnelles aurait entraîné un retour sur le terrain, donc une première perte de temps.

Seulement, le nuage de points résultant du relevé n'est pas utilisé à sa juste valeur. La méthode actuellement la plus utilisée consiste à créer une coupe du bâtiment à ses différents étages et de dessiner ou modéliser les éléments à partir de cette dernière sur un logiciel de dessin. Avec ce protocole, la troisième dimension est alors très peu utilisée. La coupe est réalisée à une certaine hauteur afin d'avoir les éléments structurels et architecturaux qui composent le bâtiment (portes, murs, ouvertures...). La modélisation est donc subjective, le choix du tracé du mur est effectué sans accrochage au nuage de points. C'est à l'utilisateur d'apprécier la position des différents éléments. Il est nécessaire de mesurer sur le logiciel de traitement des scans les hauteurs d'appuis des fenêtres par exemple, ou de réaliser une coupe verticale pour placer les ouvrants. Cette méthode est actuellement celle utilisée par CBT.

Chaque niveau est dessiné de manière indépendante et on note parfois des incohérences entre les murs porteurs de différents niveaux. Le plus gros inconvénient réside dans la non-interaction des différents plans créés. Si un élément est modifié dans la vue d'étage, il devra également être modifié manuellement dans la coupe.

De plus, les avantages du BIM sont identiques entre un projet de construction neuve ou de réhabilitation. De la même manière, ils ne diffèrent pas selon la taille du bâtiment. En effet, quel que soit les caractéristiques, l'ensemble des intervenants sera mieux coordonné, les quantitatifs seront mieux maîtrisés.

I.3.2 Limites actuelles

Les limites actuelles de l'utilisation du BIM en réhabilitation sont dues à la difficulté de produire une maquette numérique à partir d'un nuage de points issu d'un relevé par scanner laser 3D. Comme l'a précisé Ana Guevara³, lors d'une conférence au 43^{ème} congrès de l'UNTEC : «On n'a pas un logiciel magique». Le recours à des objets 2D, comme par exemple des coupes ou des orthophotos est obligatoire pour modéliser.

De plus, les bâtiments anciens présentent des structures irrégulières, avec des planchers déformés, des murs avec des défauts de verticalité ou des ouvertures asymétriques.

³ Directrice du cluster d'entreprises Eskal Eureka

Il est évident que l'ère du BIM et de la modélisation à partir de nuages de points sont à leurs commencements. Les différents logiciels vont évoluer pour permettre de réaliser ce type de maquette numérique. De plus en plus permettent désormais d'insérer un nuage de points.

I.3.3 Les évolutions envisagées

L'ensemble des acteurs dans ce domaine ont conscience de l'intérêt de cette pratique. Depuis février 2014, l'ordre des géomètres-experts finance une thèse réalisée par Hélène Macher. L'intitulé est « Modélisation tridimensionnelle à partir de nuages de points en vue de l'élaboration de maquette numérique de bâtiment (BIM) ». Le but de ce travail réalisé dans les locaux de l'INSA à Strasbourg est de rechercher des solutions d'automatisation pour le passage du nuage de points au BIM. L'approche envisagée est une segmentation successive du nuage de points pour en extraire les éléments géométriques. L'aspect sémantique n'est pas délaissé, puisque les catégories d'objets et les propriétés des matériaux utilisés seront déterminées.

Une seconde thèse a été réalisée en France dans le cadre du master BIM de l'Ecole des ponts et l'ESTP par Véronique du Peloux. L'approche est très différente mais le but est toujours d'automatiser la modélisation en BIM. Le concept utilisé a été baptisé modélisation par les vides. Les espaces à vivre d'un bâtiment sont identifiés par des espaces vides dans le nuage. Les murs sont ensuite dessinés dans un processus de modélisation inversée.

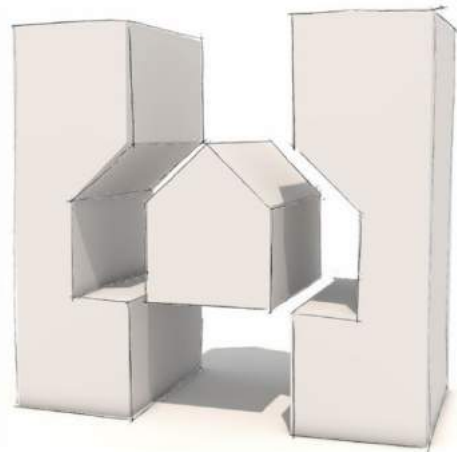


Figure 2 : Concept de Modélisation Inverse © V.du Peloux

Enfin, les éditeurs de logiciels ne sont pas en reste et développent des outils de génération de maquettes numériques plus ou moins automatisées, que nous verrons dans une seconde partie.

Le sujet du présent TFE est donc au cœur de la problématique actuelle de la réalisation du BIM « tel que construit ». L'objectif principal est de pouvoir automatiser le traitement du nuage de points notamment en dessinant les murs sans intervention de l'utilisateur. Notre étude abordera uniquement l'exploitation des données issues d'un relevé avec un scanner laser 3D. L'acquisition des données ne sera pas traitée. Cependant, une méthode de levé pourra être proposée afin de faciliter le traitement du nuage de points.

Afin de choisir la méthode d'automatisation à privilégier, nous devons étudier les différentes étapes de la modélisation pour déterminer celles pouvant être réalisées sans intervention particulière de l'utilisateur. C'est pourquoi nous devons nous intéresser aux différents logiciels qui permettent la création de maquettes numériques puis les comparer afin de choisir le logiciel dans lequel nous développerons notre solution d'automatisation. Enfin nous présenterons les fonctions disponibles pour faciliter le traitement des nuages de points.

II Exploitation des données 3D

II.1 Les logiciels de traitement de nuages de points 3D

Il est primordial de s'intéresser dans un premier temps aux différents logiciels capables d'interagir avec un nuage de points et étudier les possibilités de modélisation dans le cadre de la réhabilitation. En effet, il est important de connaître toute la chaîne de traitement pour proposer un outil d'automatisation efficace.

II.1.1 3D Reshaper

L'entreprise Technodigit a développé un outil performant et incontournable : 3D Reshaper. Il permet notamment la création de maillage 3D et la segmentation de nuage de points de toute taille rapidement. Le plugin topographie disponible permet d'effectuer des analyses de surface. La planéité et la verticalité d'un mur peuvent ainsi être vérifiées et être utiles lors de relevés de façades.

Les nuages possédant plusieurs millions de points sont très faciles à gérer dans 3D Reshaper et n'entraînent pas de ralentissement de l'ordinateur. La création de maillage est une fonctionnalité très performante.

De plus, depuis la version sortie en 2015, le « *building extractor* », module d'extraction de contour, est disponible. Son utilisation requiert un clic sur une surface plane du nuage et la définition d'une tolérance. Cette dernière se traduit par une distance au-delà de laquelle les points seront réputés ne pas appartenir au plan. Un modèle simplifié du bâtiment est réalisé et peut servir de base pour modéliser un bâtiment.

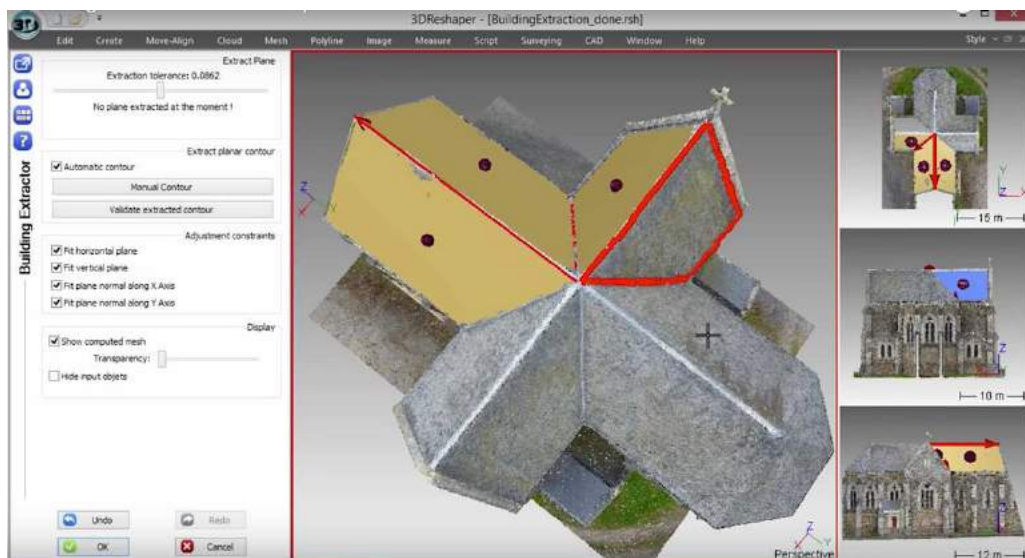


Figure 3 : Extraction des plans avec le module Building Extractor (Source : image capturée sur une vidéo de démonstration disponible sur le site de 3D Reshaper)

Cependant, cliquer sur chaque surface plane peut s'avérer une étape longue et fastidieuse lorsque le bâtiment est grand ou comporte des formes complexes. Par contre, cet outil peut s'avérer très efficace pour les constructions simples dont les surfaces planes sont facilement identifiables.

Une alternative à l'utilisation de ce module aurait été de créer un maillage assez fin et précis du bâtiment. À partir de cet élément, la fonction « *Feature line* » permettrait d'extraire les lignes caractéristiques. Malheureusement cette manipulation s'avère assez longue. Il faut garder à l'esprit que l'automatisation doit permettre également un gain de

temps par rapport au travail actuel afin d’être utile et intéressante. De plus, la création d’un maillage lisse est difficile. Le nuage de points présente du bruit. Il n’est donc pas possible de modéliser des murs de façon précise.

II.1.2 RealWorks

Distribué par TRIMBLE, il permet la lecture et l’assemblage des scans. Ce logiciel est actuellement utilisé par Campenon Bernard Topographie. Ses principaux atouts sont la gestion des gros nuages de points et la vitesse d’exécution des différentes tâches réalisables. Le recalage des stations de scans se fait simplement et est largement automatisé. Il peut s’effectuer à l’aide de cibles préalablement positionnées à l’acquisition des données mais également grâce à la détection de points commun.

La segmentation, le rééchantillonnage et la réalisation d’orthophoto constituent les avantages importants de ce logiciel, en plus de ses possibilités de lecture et de recalage des relevés 3D effectués. Il est possible de créer plusieurs objets en segmentant le nuage et de les exporter individuellement. L’exploitation directe des points est possible grâce à l’intégration du logiciel Sketchup, que nous présenterons dans la **Partie II.2.4**.

La figure visible ci-dessous illustre l’organisation du logiciel, avec l’arborescence des différents objets créés ainsi que la fenêtre de visualisation du nuage de points.

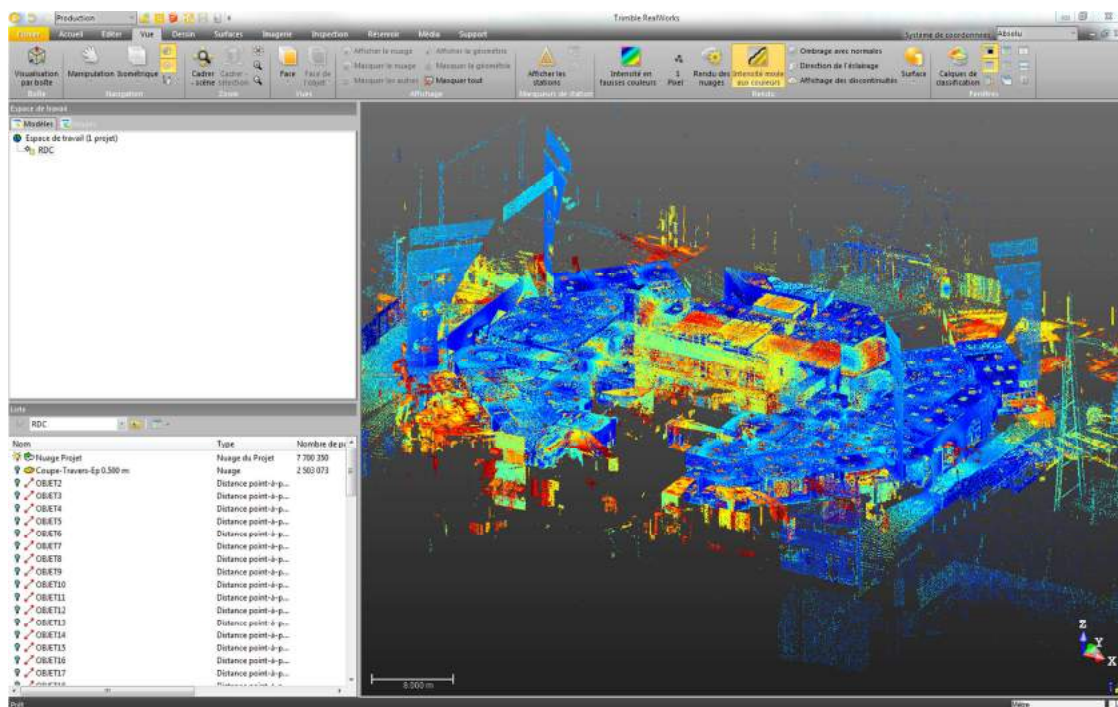


Figure 4 : Visualisation d’un nuage contenant 7,7 millions de points sous Realworks

De nombreux formats d’export sont disponibles. Ils concernent le nuage de point du projet, les éléments segmentés, les objets modélisés mais aussi les différentes mesures que l’on a pu effectuer.

II.1.3 Cyclone

Leica a également son propre logiciel de traitement pour les données issues de scanners 3D. Cyclone se comporte comme une base de données. Suite à l'import des fichiers relevés, un dossier se crée pour chaque station.

Dans l'arborescence du projet, plusieurs éléments sont visibles, dont :

- Une visualisation du nuage de points ;
- Le relevé effectué sur chacune des cibles ;
- Les photos capturées durant le relevé.

Le logiciel est peu convivial à cause de son interface peu lisible et de son arborescence parfois complexe. Lorsque les scans sont nombreux, les étapes de recalage et de géoréférencement peuvent être assez longues. Cet aspect représente donc un inconvénient majeur.

En effet, dans le cas de réhabilitation, les bâtiments ont parfois des surfaces importantes. La disposition et l'agencement des pièces demandent d'effectuer de nombreuses positions de numérisation.

Pour la suite de l'exploitation des données, Cyclone est composé de différents modules pour chaque fonction disponible (géoréférencement, analyse de données...). Il permet de s'adapter à l'utilisateur et d'offrir un logiciel à la carte. Cependant, aucune détection n'est possible.

Pour pallier ce manque de fonctionnalité et de convivialité, Leica propose l'outil CloudWorx. Il s'agit d'un plug-in performant pour traiter les nuages de points avec les logiciels DAO. Il est disponible dans de nombreuses suites logicielles :

- Autocad,
- MicroStation,
- PDMS,
- Revit.

II.1.4 Scene

L'entreprise FARO est connue pour la commercialisation de scanner laser 3D, c'est donc tout naturellement qu'elle propose une solution de traitement à ses clients. Il est tout de même compatible avec les relevés effectués avec tous types de scanner laser 3D.

Il est très intuitif, avec une interface conviviale. Le recalage des scans se fait rapidement et de manière automatique grâce à la reconnaissance d'objets. Il peut aussi s'effectuer sans cibles grâce à la détection de points communs comme RealWorks.

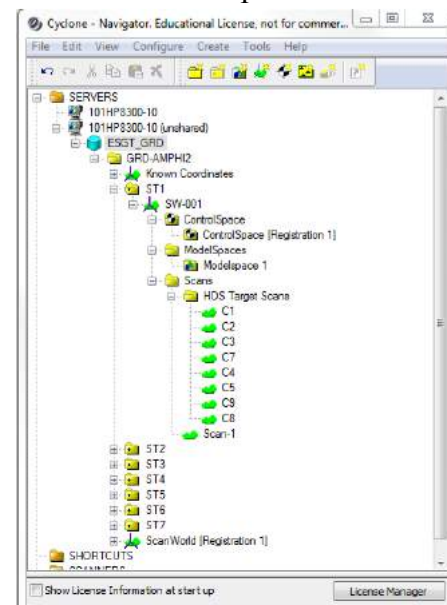


Figure 4 : Arborescence d'un projet

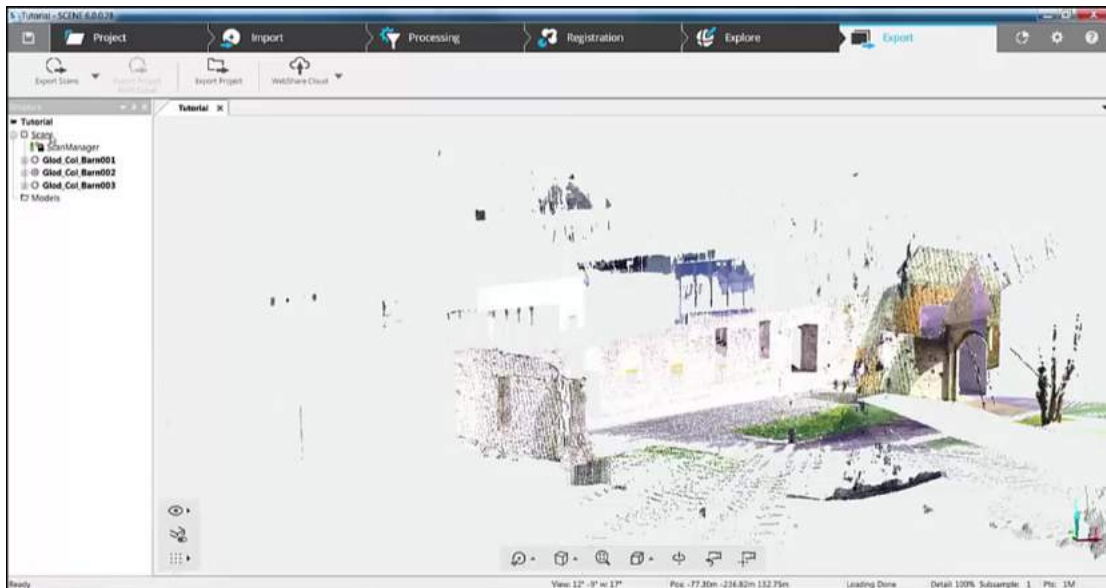


Figure 5 : Espace de travail sous le logiciel Scene (illustration issue d'une vidéo créée par FARO GB)

Un autre atout du logiciel se trouve dans les exports. Les fichiers peuvent être enregistrés dans le format Autodesk Recap depuis la version 6.0. C'est donc une porte ouverte à l'utilisation du logiciel de modélisation 3D du même éditeur : Revit.

On peut noter tout de même une certaine latence et difficulté à traiter les nuages de points importants avec beaucoup de positions de scans. Il peut donc montrer ses limites lors de grands chantiers de réhabilitation.

II.1.5 Recap Pro

L'outil gratuit Recap d'Autodesk permet d'obtenir à partir d'un fichier issu du scanner laser un document .rcp⁴ exploitable dans Revit. C'est avant tout un logiciel de conversion.

Il existe également une version payante, Recap Pro. Elle possède plus de fonctionnalités. De nombreux formats d'import sont disponibles, quel que soit la marque du scanner laser utilisé pour le relevé. Il est possible d'assembler et de géoréférencer les scans effectués. Cependant, il n'est pas capable de détecter automatiquement les cibles permettant l'appariement des différents nuages. Cela peut devenir dommageable pour les gros chantiers. L'utilisateur est obligé de cliquer sur chacune d'elles, cette étape peut s'avérer assez longue.

Ensuite les points peuvent être visualisés selon leurs couleurs, leur élévation ou par sélection manuelle. Le nuage peut être segmenté en plusieurs zones.

Le nuage peut ensuite être exporté dans d'autres formats que RCP, et notamment en PTS, las, E57... Ce dernier format est un format d'échange supporté par grand nombre d'applications. Le fichier las, utilisé à l'origine pour le traitement des données Lidar aéroporté, est aussi très répandu.

⁴ Format propriétaire d'Autodesk

II.1.6 Choix d'un logiciel de traitement

	Avantages	Inconvénients
3D Reshaper	Création de maillages simple, rapide et efficace Fonctionnalité « Building Extractor»	Etape de détection des plans fastidieuse Pas de lien avec un logiciel de modélisation
RealWorks	Recalage automatique Gestion des gros nuages Intégration de Sketchup	Format d'import Modélisation limités
Cyclone	Robustesse d'une base de données	Interface peu conviviale Nécessité de CloudWorx Pas de recalage automatique
Scene	Logiciel intuitif Recalage automatique Export au format RCP	Mauvaise gestion des nuages importants
Recap Pro	Simplicité d'utilisation Réelle interaction avec le nuage Export au format RCP	Peu adapté pour des gros chantiers

Tableau 3 : Avantages et inconvénients des logiciels de traitement testés

Le logiciel Realworks a été retenu pour effectuer les manipulations sur le nuage de points avant de modéliser. Il présente des avantages indéniables par rapport à ses concurrents. Ses capacités à interagir rapidement avec le nuage de points et de manière fluide ont conforté mon choix de l'utiliser lors de la phase de traitement. De plus, ce logiciel est déjà utilisé par CBT et maîtrisé.

Il permettra donc la lecture des fichiers de scans, le recalage automatique et la segmentation préalable du nuage. C'est une étape primordiale dont nous verrons les caractéristiques dans une prochaine partie. (Cf **Partie IV.1**)

De plus, le lien avec le logiciel Sketchup pourrait être une piste pour l'automatisation envisagée.

II.2 Les logiciels de modélisation 3D

Nous allons désormais nous intéresser aux différents logiciels disponibles qui permettent de modéliser des objets en trois dimensions en vue de produire une maquette numérique. Les possibilités de travailler à partir du nuage de points seront analysées.

Ils sont assez nombreux sur le marché. C'est pourquoi il est primordial de les tester dans la mesure du possible et d'étudier à chacun leurs avantages et inconvénients. Une étude avait déjà été réalisée par K. DEHODENT lors de son TFE en 2015. Cependant, ces solutions évoluant très rapidement, il est conseillé de refaire un état des lieux sommaire.

II.2.1 AllPlan

La cellule de recherche BIM de Vinci a débuté la modélisation avec AllPlan, logiciel du groupe Nemetschek. L'interface intuitive permet une prise en main facile et rapide du logiciel. Le format d'échange IFC, qui tend à devenir le format d'échange est supporté en import et en export.

Il offre de très nombreuses possibilités de modélisation. Depuis peu, l'import de nuage de points est possible mais demande l'installation d'un module complémentaire assez coûteux.

Bien qu'il soit un très bon logiciel de modélisation. Il reste tout de même en retrait face à ses concurrents, notamment au niveau de la bibliothèque d'objets disponibles. L'exploitation du nuage reste très limitée avec le logiciel de base. Il n'est donc pas forcément adapté pour une utilisation en réhabilitation, malgré ses évolutions majeures de ces dernières années.

II.2.2 ArchiCAD

La société hongroise Graphisoft, appartenant au groupe Nemetschek depuis 2007⁵, a développé la première solution BIM développée pour les architectes. Il continue d'être innovant dans le domaine de l'industrie.

La création de BIMcloud, outil complémentaire à ArchiCAD, permet une meilleure collaboration entre les intervenants grâce à une gestion efficace du stockage des données de la maquette. De plus une application pour mobile et tablette a également été développée, BIMx permet la visualisation de l'environnement BIM créé à partir de la maquette. La mobilité du projet est donc assurée et contribue à la démocratisation du BIM.

Ce logiciel est vraiment simple d'utilisation. Il intègre l'import et l'export des IFC ainsi qu'une bibliothèque d'objets paramétriques exhaustive. La limite d'ArchiCAD se situe dans la création d'objet personnel. Ce défaut peut s'avérer contraignant, les bâtiments existants peuvent présenter des formes spécifiques et non standards.

L'éditeur a apporté une mise à jour importante et incontournable pour son utilisation dans notre cas. Depuis la version 19⁶, il gère la lecture et l'insertion de nuage de points. On peut donc reprocher un certain retard pour la réalisation de « *Scan to BIM* ».

⁵ Source : Site du groupe Nemetschek

⁶ La version 19 est sortie en 2015

II.2.3 Autodesk

Autodesk est très connu dans le monde de la DAO classique et a su prendre le tournant de la modélisation 3D en vue d'une utilisation BIM. La société apporte les ressources nécessaires à l'utilisateur avec AutoCad Architecture et Revit.

La modélisation 3D nous oblige à changer notre approche habituelle avec le dessin 2D classique. Cependant, Autocad reste un acteur majeur, il est donc important d'étudier ses possibilités. La fonction d'insertion de nuage de points est assez récente ; une manipulation préalable est obligatoire, à travers le logiciel Recap.

Cependant la version classique d'Autocad suffit pour effectuer des modélisations 3D mais pas pour réaliser une maquette numérique. En effet, les objets créés ne sont pas dit « intelligents » et restent une simple représentation qui est ensuite figée.

II.2.3.1 AutoCad Architecture

La solution proposée par Autodesk se nomme AutoCad Architecture. Elle se présente comme une alternative à Revit. Les utilisateurs habitués à travailler avec Autocad en DAO classique retrouveront leurs marques rapidement grâce à une interface intuitive.

La bibliothèque des objets disponibles est complète. Elle est tout de même moins riche que les autres solutions présentées dans cette partie. Les éléments sont insérés dans différents calques. La gestion des objets est donc relativement simple. Les éléments sont paramétriques et les propriétés sont modifiables facilement. Malheureusement, ce ne sont pas des objets intelligents.

La gestion des différents niveaux du bâtiment se fait par élévation. Ainsi il faudra créer le mur de la dimension voulue puis renseigner dans ses propriétés son élévation, qui correspond à la hauteur cumulée des murs précédemment créés.

II.2.3.2 Revit

C'est l'un des logiciels les plus intéressants actuellement proposé sur le marché. Sa bibliothèque de familles d'objets est complète et puissante. La création de nouveaux éléments est possible grâce à un éditeur d'objet inclus.

Chaque objet est intelligent. Les propriétés sont paramétrables manuellement et se mettent à jour lorsque des objets liés sont modifiés. Une base de données regroupe l'ensemble des informations et permet de créer des listings ou métrés des éléments.

Les limites du logiciel sont difficiles à atteindre, en contrepartie il faut une machine bien équipée capable de supporter le poids et les besoins du logiciel. Sa prise en main est également la plus difficile, et demande une période d'adaptation. Lors du processus de collaboration, il est important que chacun possède la même version de Revit. Il n'est pas possible d'enregistrer dans un format de version antérieure.

Grâce à son expérience, Autodesk propose un logiciel complet et qui ne cesse d'évoluer. De nombreux plug-ins sont disponibles pour automatiser certaines tâches, notamment celles qui concernent la manipulation et l'export d'éléments dans la base de données.

Il existe plusieurs possibilités pour créer une maquette numérique sous Revit :

- *À partir du nuage de points*
- *À partir d'un plan DWG 2D ou 3D*

II.2.4 SketchUp

TRIMBLE est propriétaire de ce logiciel, issu de l'initiative de développement de Google. Le lien avec RealWorks est réalisé avec la fonction Scan Explorer ce qui constitue un atout majeur.

Une des fonctionnalités intéressantes est la détection des arrêtes contenues dans le nuage de points. Les éléments sont ensuite exportés automatiquement dans le logiciel de modélisation. Ils constituent une base au travail de création de la maquette numérique. L'utilisateur n'intervient pas pour positionner les murs.

SketchUp est désormais compatible avec la norme IFC depuis sa version 2015. La bibliothèque disponible est complète et le développement d'outils est assez simple.

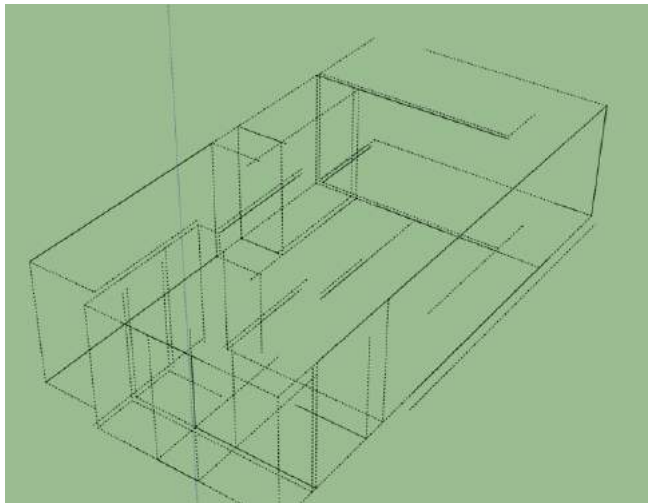


Figure 5 : Segments extraits à partir de RealWorks

Cependant, après avoir modélisé les murs par extrusion, leurs caractéristiques doivent être rentrées manuellement. La procédure à effectuer est assez fastidieuse.

Il a également d'autres inconvénients. Le principal est qu'en l'absence de Trimble RealWorks, aucun lien n'existe avec le nuage de points Sources. On peut également observer des écarts entre les arrêtes et les faces extraites à partir d'une même surface. Un réajustement est donc à effectuer pour obtenir une modélisation correcte du bâtiment.

II.2.5 Choix d'un logiciel de modélisation

La réalisation d'une maquette numérique est relativement chronophage et nécessite plus de temps qu'une simple modélisation. Le logiciel retenu se doit donc d'être performant tout en restant simple d'utilisation.

De plus, en vue d'une application BIM, la compatibilité IFC est obligatoire. L'insertion de nuage de points est également essentielle dans le cas de la réhabilitation de bâtiments. L'ensemble des solutions logicielles présentées dans cette partie réunissent ces deux conditions pour pratiquer le « *Scan To BIM* ».

Mon choix s'est porté sur le logiciel Revit. Il possède une légère avance sur ses concurrents. Sa bibliothèque est très complète et sans limite de création d'objets personnels ou de gabarits. Les possibilités de programmation et de personnalisation sont particulièrement intéressantes.

De plus, la politique actuelle de VCF est de favoriser l'utilisation des logiciels Autodesk. Dans cette optique, la cellule BIM de Paris a délaissé AllPlan pour se consacrer entièrement à Revit. Des gabarits et des familles d'objets propres à Vinci ont été créés.

III Les solutions d'automatisation disponibles

Aucune fonctionnalité de base n'existe pour modéliser à partir d'un nuage de points, mis à part l'accrochage aux objets. Certains éditeurs ont choisi de développer des outils capables de créer rapidement des éléments d'une maquette numérique à partir d'un nuage de points. Les automatisations existantes et envisagées sont donc partielles. Nous allons voir dans cette partie les différents outils actuellement disponibles.

III.1 Outils compatibles avec Revit

III.1.1 Point Sense de Kubit (version 16)

Kubit propose depuis 1999 des solutions pour simplifier la modélisation d'objets. La société FARO l'a racheté en 2015. C'est un outil puissant permettant l'automatisation de la création de maquette numérique grâce à ses fonctions de reconnaissance automatique.

La fonction qui nous intéresse le plus est la détection automatique des murs, cœur de notre sujet. Pour ce faire, il réalise alors une orthoimage d'une plage de vue de l'étage selon l'intensité du niveau de gris. Certains contours visibles sur le nuage de point ne le sont pas sur l'image créée. Inversement, des objets, autres que des murs, présentant une forte discontinuité sont visibles. Les résultats sont dépendants de la qualité de l'orthophoto.

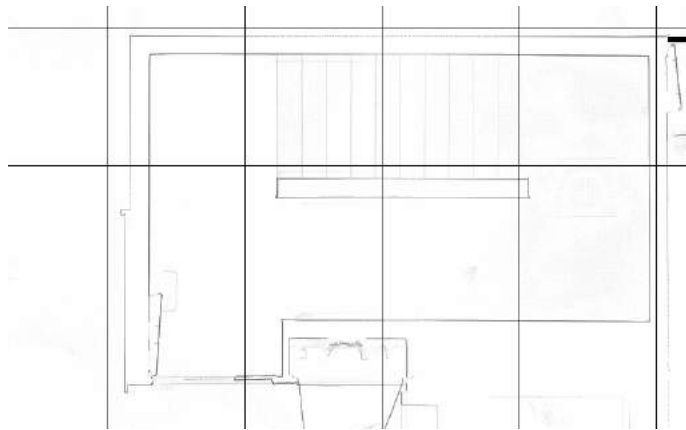


Figure 6 : Orthoimage générée par pointSense

Lors d'un test avec un nuage de points assez volumineux⁷, l'ensemble de ces images alourdit considérablement le fichier Revit. La machine d'exploitation, pourtant performante⁸, connaît de forts ralentissements et des bugs.

L'avantage réside dans la simplicité d'utilisation. Les murs et leurs épaisseurs sont détectés en cliquant grossièrement aux deux extrémités du mur visible sur l'orthophoto. Quel que soit les points cliqués, un mur sera toujours proposé.

Même lorsque les clics sont effectués dans des zones blanches. Il aura des caractéristiques aberrantes. De même, nous observons ces limites lors de l'utilisation d'un scan d'intérieur non couplé avec les scans réalisés à l'extérieur du bâtiment. Il faut à chaque fois prendre la précaution de lui indiquer le mur voulu. Ses propositions sont parfois très loin de la réalité.

Suite à ces opérations, les murs sont modélisés. La fonction « *Align Wall* » permet d'ajuster la longueur et la perpendicularité des murs. Cependant lorsque les murs sont

⁷ Environ 170 000 000 points représentant une surface de 1700 m²

⁸ Processeur Intel Xeon 3.50 GHz, 6 cœurs, 32 Go de RAM, Windows 7 version 64 bits

ajustés, la modification de leurs hauteurs entraîne le détachement des voiles créés. Or le principe et l'intérêt d'une maquette BIM est la mise à jour des différents éléments.

L'inconvénient majeur est la création manuelle des ouvrants (portes, fenêtres...) dans une vue en 2D. Il est difficile d'apprécier leurs positions et leurs types à partir d'images. Il faut alors utiliser des vues 3D à partir du nuage de points ou recourir à un outil complémentaire : Virtusurv.

III.1.2 Virtusurv

Cette solution est disponible également dans Autocad. Dans Revit, l'installation du plug-in Point Sense implique également l'installation de Virtusurv (version 16). Il permet de mettre en lien la vue sphérique générée par le scanner pendant le levé avec le nuage de points géo-référencé. Il faut au préalable exporter les positions de scans dans Revit afin de rendre la liaison possible.

Les positions de numérisation et les photos sont insérées et recalées dans le projet Virtusurv. Cette étape est assez longue, pouvant aller jusqu'à plusieurs heures. La taille des fichiers créés est également assez conséquente. (Exemple : un projet créé représentant 1700m², soit une centaine de stations, pèse environ 200Go) Il faut donc prévoir des capacités de stockage en rapport avec les projets à traiter.

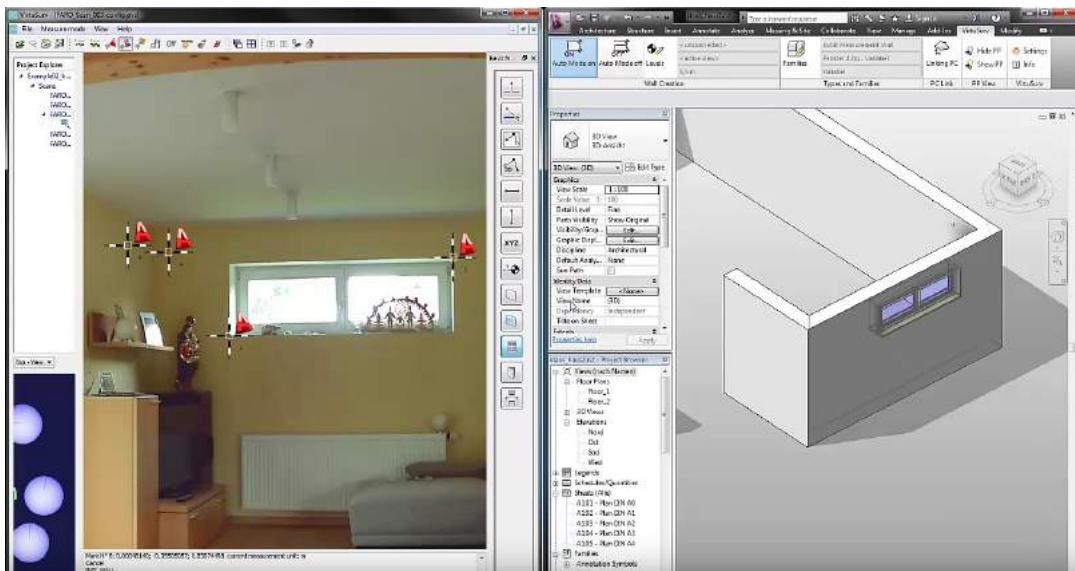


Figure 7 : Fonctionnement de Virtusurv (Source : image capturée sur une vidéo disponible sur le site de Kubit)

Virtusurv s'ouvre dans une nouvelle fenêtre pour permettre la visualisation des images. Il est possible de déterminer des niveaux, la position des murs, leurs épaisseurs, les portes, les fenêtres... Ces derniers sont ensuite insérés dans Revit après avoir choisi le type voulu selon les éléments chargés dans la bibliothèque. L'utilisateur a la possibilité de créer un nouvel objet avec les dimensions cliquées.

On observe quelques décalages entre les murs détectés par Point Sense et Virtusurv. Il est normal d'observer ce phénomène, la méthode de détermination étant différente. Heureusement, la différence est inférieure au centimètre. Ce qui assure tout de même une cohésion dans la maquette créée.

C'est un outil complet pour utiliser au maximum les informations enregistrées par le scan durant le levé. Mais la lourdeur des données nécessaires au bon déroulement des opérations peut devenir une faiblesse. De plus, l'intégralité du processus est manuelle, il permet seulement de simplifier la modélisation.

III.1.3 Scan to Bim d'Imaginit

Scan To BIM désigne ici le nom du plug-in qui a été testé. Il offre des possibilités pour réaliser du « *Scan to BIM* » (*méthode de traitement*). Il est distribué par l'entreprise américaine Imaginit Technologie. Il est disponible pour Revit depuis sa version 2012. Il réalise la reconnaissance et la détection d'éléments architecturaux tels que les murs ou encore les colonnes. En revanche, il n'est pas capable de détecter les ouvertures.

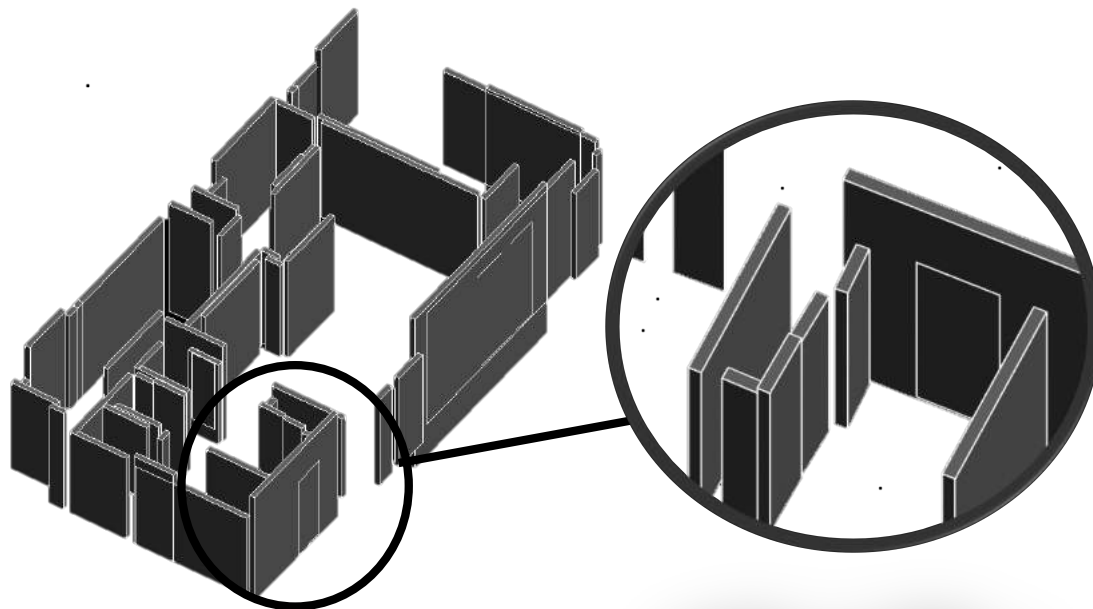


Figure 8 : Résultats obtenus avec Scan To BIM (Imaginit)

La détection est assez rapide et ne dure que quelques minutes pour les nuages dont la taille est conséquente (Environ 170 000 000 points représentant une surface de 1700 m²). Le plug-in utilise la densité de points. Si cette dernière est trop faible, les résultats seront médiocres. La **Figure 8** illustre les résultats obtenus à partir d'un nuage représentant un vestiaire d'environ 60m².

À la suite des résultats, on obtient le récapitulatif des éléments détectés avec leurs caractéristiques (hauteur, largeur, type). Cependant, on peut voir apparaître de nombreuses mauvaises détections sur la largeur des éléments mais également les hauteurs. Elles sont visibles sur le zoom de la **Figure 8**. Cela implique donc l'ajustement manuel de toutes les contraintes inférieures et supérieures des murs.

On peut apercevoir des doubles détections, donc des chevauchements de murs ou encore des murs de doubles épaisseurs. Comme énoncé précédemment, un filtrage est possible à la suite des résultats pour choisir les murs à créer. Seulement il est parfois long de vérifier chaque mur créé. Il est plus facile de les insérer en intégralité et de procéder à une vérification avec le nuage de points.

Cependant, sur un même alignement, plusieurs murs peuvent être dessinés. Il est donc parfois difficile de faire le choix du meilleur plan et peut constituer une perte de temps. Il faut noter également que les niveaux ne sont pas renseignés pour procéder à la détection. C'est pourquoi certaines hauteurs de murs sont aberrantes. Ces derniers sont créés sans contrainte inférieure ou supérieure de hauteur. Seule la hauteur détectée est renseignée.

L'algorithme du plug-in reste méconnu. Nous ne savons pas quelle méthode est employée lors de la reconnaissance de forme. Lorsque qu'un mur est relevé par un scanner laser 3D, sa surface ne constitue pas un plan régulier. La précision de l'appareil et le

revêtement du voile apportent du bruit. Aucune donnée sur la tolérance utilisée par Scan To Bim n'est renseignée.

L'atout majeur reste la rapidité de détection et la possibilité de traiter un nuage brut. Cela peut constituer un avantage pour les personnes ne possédant pas de logiciel de traitement de nuage de points spécifiques et qui travaillent sur des nuages déjà recalés. Mais nous observons de nombreux défauts sur les éléments créés. La perte de temps nécessaire pour effectuer les reprises peut s'avérer conséquente, même pour un bâtiment de petite taille comme utilisé en exemple. L'utilité de l'utilisation du plug-in est donc remise en cause.

III.1.4 EdgeWise BIM de ClearEdge3D

ClearEdge3D est une entreprise américaine spécialisée dans la reconnaissance et l'extraction d'objet à partir de relevés scanner laser 3D. Ils proposent de nombreuses solutions pour le monde de l'industrie, et se sont développés dans le bâtiment et plus précisément dans le BIM avec EdgeWise Building Modeling Tools. Ce dernier est inclus dans la suite logicielle EdgeWise BIM.

Malheureusement, les demandes de versions d'essais que j'ai effectuées n'ont pas été honorées. Une démonstration du logiciel est tout de même disponible. Les différentes fonctionnalités sont visibles, notamment l'extraction de plan et la détection automatique des murs. Le point de départ de toutes les détections est visible dans la **Figure 9**. Il s'agit des lignes caractéristiques présentes dans le nuage de points.

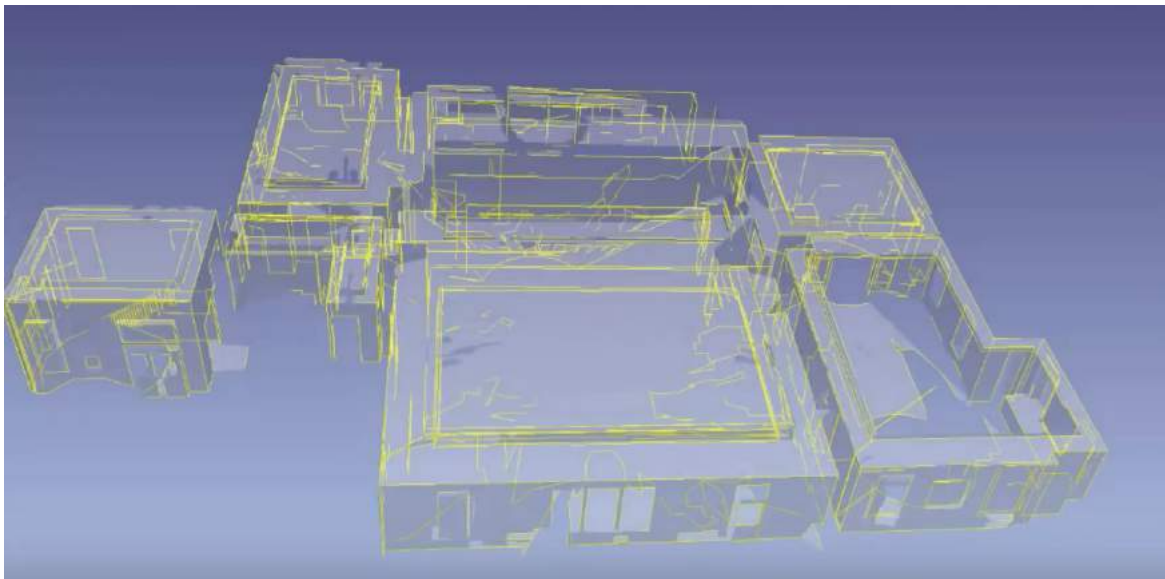


Figure 9 : Lignes caractéristiques du nuage de points (Source : image issue d'une vidéo de démonstration disponible sur le site de l'éditeur du logiciel)

Il suffit de cliquer sur les surfaces pour extraire les plans horizontaux et les niveaux correspondants. La détection des murs se fait en fonction de ces derniers et des lignes caractéristiques.

EdgeWise n'est pas un simple plug-in. C'est un logiciel à part entière qui réalise ensuite l'export des éléments vers le logiciel Revit. La visualisation du nuage et des différents objets détectés sont possible.

Cette solution semble être la plus aboutie et correspond aux attentes lors de l'automatisation de la création d'une maquette numérique.

III.2 Développement de solution personnelle

Plusieurs solutions existent dans Revit pour créer ses propres programmes et réaliser des automatisations à partir des commandes de bases disponibles dans le logiciel. L'utilisateur peut choisir de créer une macro ou un plug-in. Pour chacune de ces possibilités, Revit propose une interface de programmation : l'API, qui gère quatre langages de programmations, tous orientés objet :

- C# : langage le plus répandu,
- VB.NET : influencé par Visual Basic et C#,
- Ruby : langage de programmation libre,
- Python : langage intuitif.

Lors de mon cursus à l'ESGT, j'ai pu programmer avec Python. C'est donc tout naturellement que je me suis tourné vers ce langage pour tester le développement d'outil.

On trouve de nombreux programmes en C# et VB sur l'aide de l'API mais également dans les forums dédiés au développement dans Revit. Les autres langages sont moins répandus.

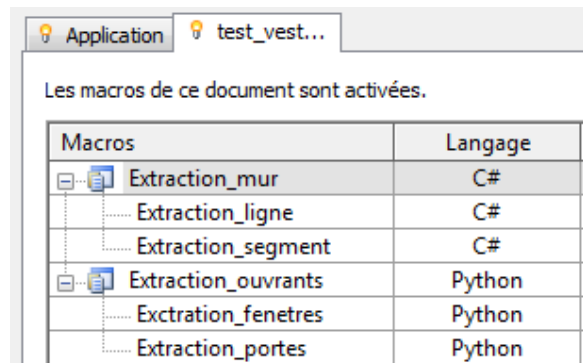
La communauté des programmeurs sous Revit est assez dynamique. De nombreux sites, forums et blogs référencent des projets de développement. La majorité des solutions proposées concernent l'exploitation de la base de données de la maquette numérique ou encore la création ou suppression de vues dans Revit. En effet, la réalisation de BIM en réhabilitation étant encore peu répandue, il existe peu de solutions portant sur l'aspect géométrique de la modélisation d'un bâtiment.

Nous allons désormais voir les caractéristiques des macros et plug-in créés dans Revit en Python, ainsi que les solutions alternatives existantes.

III.2.1 Création de macro

Depuis la version 2013 de Revit, SharpDevelop est utilisé comme IDE, c'est-à-dire comme environnement de développement, pour permettre la création de macro. Il permet d'augmenter la productivité en intégrant un éditeur de texte, des fonctions ainsi qu'un débogueur en ligne.

Un module est créé dans le langage de programmation choisi par l'utilisateur et contient la ou les macros réalisées. Ainsi plusieurs macros de langage différent peuvent cohabiter dans l'application.



Les macros de ce document sont activées.

Macros	Langage
Extraction_mur	C#
..... Extraction_ligne	C#
..... Extraction_segment	C#
Extraction_ouvrants	Python
..... Exctration_fenêtres	Python
..... Extractionportes	Python

Figure 10 : Gestion des macros en langage différent sous Revit

Le gestionnaire de macro propose une édition pas à pas du programme. Leur création est assez simple. Un utilisateur néophyte en informatique peut donc automatiser des tâches facilement.

Les macros peuvent ensuite être activées dans le document actif ou dans l'application. Il faut tout de même noter qu'elles sont liées soit à la session Windows d'un utilisateur, soit à un dessin.

Il existe tout de même des limites de développement, quelque soit le type de langage choisi. Les fonctions disponibles sont restreintes. L'automatisation possible ne concerne pas toutes les tâches.

Le manque de portabilité constitue également un inconvénient majeur. Il n'est pas possible de charger un script existant. Il faut que chaque utilisateur crée un module, puis la macro et enfin copie les lignes de codes associées.

III.2.2 Création de Plug-in

Les Plug-ins permettent de réaliser des travaux plus conséquents et plus intéressants que les macros. Ils sont développés indépendamment de Revit. Les échanges sont donc beaucoup plus simples. Le programmeur et l'utilisateur jouissent d'une plus grande liberté de création et d'utilisation.

Daren THOMAS a créé un plug-in Revit, RevitPythonShell. Il permet de communiquer avec le logiciel dans le langage Python. Il ne peut pas fonctionner seul. Il faut obligatoirement procéder à l'installation de IronPython, il s'agit d'une implémentation du langage Python. Revit SDK est aussi indispensable et se révèle être d'une aide précieuse.

Cependant on peut noter la faible présence, voire l'inexistence d'exemples de scripts

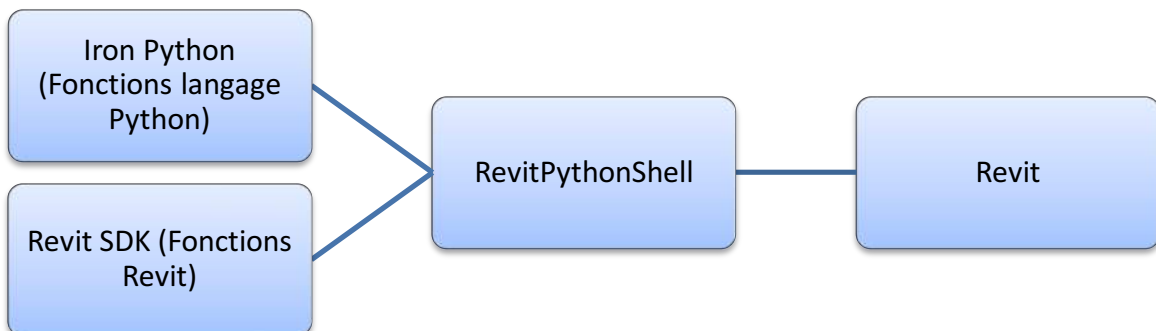


Figure 11 : Outils nécessaires pour la création de plug-in sous Revit en Python

dans ce langage dans l'API. Les attributs des fonctions dans Revit évoluent chaque année avec le logiciel. Les différents scripts disponibles sur internet sont peu nombreux et souvent anciens. Ils ne fonctionnent donc plus dans l'actuelle version de Revit.

Ces difficultés m'ont amené à remettre en cause le choix du langage de programmation. J'ai alors décidé d'étudier la solution VB.NET. Seulement, la durée du TFE semblait trop courte pour apprendre un nouveau langage tout en développant une solution d'automatisation fiable. Il est possible de traduire des codes Sources écrits en C ou VB dans le langage Python. Les scripts traduits présentent des défauts et il est parfois plus rapide et simple de créer ses propres lignes de code. J'ai donc décidé de continuer en Python en m'appuyant seulement sur les fonctions et attributs définis dans l'API.

III.2.3 Différences entre macro et Plug-in

Les deux types d'outils apportent des solutions pour simplifier les tâches fastidieuses de l'utilisateur. Seulement l'action de la macro est de moindre mesure que celle du plug-in.

Le schéma suivant illustre les points communs et les différences de ces deux entités :

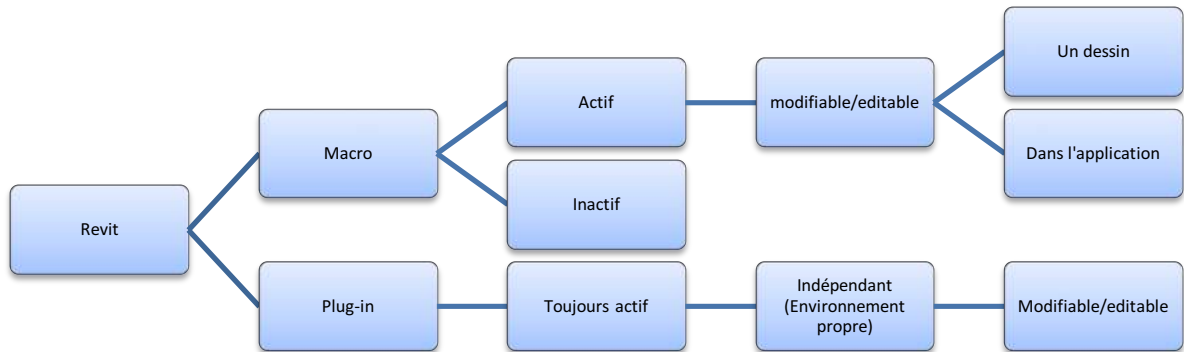


Figure 12 : Distinction macro/plug-in

III.2.4 Autres solutions

III.2.4.1 Dynamo

C'est un langage de programmation visuel utilisable via l'installation d'un plug-in qui permet d'automatiser certaines tâches ou encore créer des liens entre plusieurs applications. Elle ne nécessite pas la maîtrise d'un langage de programmation spécifique. Cette solution est très avantageuse au néophyte du développement.

Cependant, l'automatisation de la création d'une maquette numérique est complexe. Il semble donc difficile d'effectuer la programmation avec ce type de langage, c'est pourquoi il n'a pas été abordé.

III.2.4.2 Autodesk Labs

Autodesk Labs est un processus qui permet de partager les innovations des différents logiciels de la firme avec les utilisateurs et développeurs. C'est un portail collaboratif de partage d'outils CAO. Cet aspect est plutôt intéressant dans notre cas, puisqu'il reprend un des piliers de la définition du BIM.

Point Cloud Feature Extraction for Autodesk Revit est un plug-in lancé en 2012 pour Revit dans le Labs et a été disponible quelques mois. Il est disponible également dans Autocad. Les résultats obtenus semblaient mitigés, des bugs incessants étaient observés. Il faut tout de même prendre en compte que Revit avait encore à cette époque quelques problèmes de stabilité, aujourd'hui résolus.

Ce plug-in n'étant plus disponible, son essai est impossible. Il est tout de même important de voir que des axes d'amélioration de modélisation automatique sont connus depuis le début de la modélisation. Il est regrettable que son développement se soit arrêté.

III.3 Choix d'une solution de développement

Grâce à l'étude des différentes solutions présentes sur le marché, il est désormais possible de choisir celle qui correspond le plus à nos besoins.

	Avantages	Inconvénients
Solutions existantes sur le marché		
PointSense/Virtusurv	Utilisation de l'ensemble des données Modélisation complète du bâtiment	Capacité de stockage nécessaire importante, passage par la 2D avec l'ortho-image
Scan To BIM	Rapidité d'exécution Pas de traitements préalables du nuage	Résultats nécessitant de nombreuses reprises
EdgeWise	Création de mur et sol automatique	Non testé
Développement de solution personnelle		
Macro	Simplicité de création et d'utilisation	Échange difficile, tâches restreintes
Plug-in	Liberté de développement, accessible à tous les utilisateurs d'un même ordinateur	Aide quasi inexistante suivant les langages de programmation

Tableau 4 : Comparaison des solutions disponibles pour automatiser la création d'une maquette numérique

Les outils disponibles sur le marché sont intéressants. Les résultats obtenus sont en deçà des attentes que l'on peut avoir suite aux différentes démonstrations visibles. De plus, peu de témoignages d'utilisateurs sont disponibles. Il semble judicieux de développer un outil alternatif en interne. Il permettrait d'apporter une solution à court terme en attendant que d'autres solutions se développent, ou l'améliorent pour qu'elle devienne une solution à part entière.

Pour cela, nous avons choisi de recourir à l'élaboration d'un plug-in sous Revit pour nous assurer une liberté de développement et d'échange entre les différents utilisateurs possibles. Nous allons donc étudier l'élaboration du script pour automatiser la création de la maquette numérique et son intégration dans Revit.

IV Développement d'une solution d'automatisation

L'étape de modélisation est assez longue et fastidieuse. L'intérêt de l'automatiser est de réduire les coûts de traitement tout en assurant un résultat aussi bon, voire meilleur que celui obtenu manuellement. Le but premier est de pouvoir faciliter la modélisation des murs.

Pour rappel, les outils choisis sont les suivants :

- Logiciel de modélisation 3D Autodesk Revit
- Langage de programmation orienté objet Python
- Plug-in RevitPythonShell pour permettre l'intégration du script dans le logiciel

Afin d'explorer les pistes de développements possibles, il est nécessaire d'étudier l'étape clé : la segmentation du nuage. Ensuite la solution envisagée sera présentée ainsi que son approche algorithmique. Pour finir, une comparaison entre les résultats obtenus manuellement, automatiquement et le nuage de points source sera effectuée.

IV.1 Segmentation du nuage

Une définition a été établie par (Ait El Kadi, Tahiri, Simonetto, & Sebari, 2013) : « Le terme de segmentation signifie généralement une partition de l'espace en zones caractéristiques à base d'un critère d'homogénéité. ». (Pu et Vosselman, 2006) associe le terme à « un processus de labélisation de chaque point du nuage de points ». Des sous-ensembles du nuage de points sont donc créés en fonctions de caractéristiques communes.

Cette étape conditionne la qualité et la précision des éléments qui seront modélisés à la suite du traitement. Elle est très largement chronophage lorsqu'elle est effectuée manuellement. L'automatisation de la création d'une maquette numérique se traduit donc par l'automatisation de la segmentation du nuage de points sources.

Des solutions de segmentations ont déjà été étudiées et sont disponibles, notamment pour les relevés aériens Lidar. En effet, ces derniers sont acquis en 2,5D et peuvent être transformés en image sans perte d'informations. Ainsi, les méthodes de segmentations utilisées en traitement numérique des images peuvent être utilisées.

De nombreuses recherches et avancées sur la segmentation ont été réalisées pour les relevés industriels ou encore les relevés de façades. Le dessin de ces dernières est également un processus fastidieux compte tenu de la multitude de lignes présentes. La modélisation automatique des sites industriels est plus avancée.

Il existe plusieurs types de segmentation. Nous présenterons sommairement dans cette partie les principales.

IV.1.1 Segmentation par agrégation de points

Appelée aussi segmentation par croissance de surface ou encore croissance de régions. Des surfaces graines sont définies pour permettre d'initialiser la recherche.

L'idée principale est de créer une région en se propageant de proche en proche tant qu'un critère de similarité est respecté. Si les points respectent ce dernier, ils sont associés à la surface. Le processus s'arrête lorsque plus aucun des points voisins ne réponds aux critères. Sa rapidité d'exécution est un atout majeur.

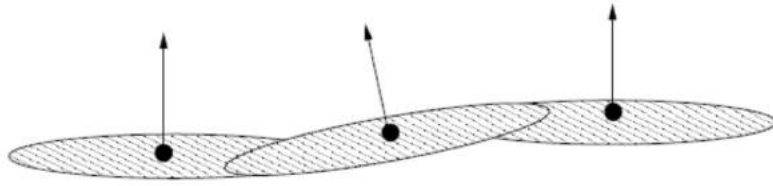


Figure 13 : Calcul d'un plan et d'une normale en chaque point (Stamos, 2001)

Les points candidats peuvent être validés selon plusieurs caractéristiques, notamment :

- La **proximité** : Tous les points définis dans un rayon r fixé de la surface graine appartiennent à la région,
- La **normalité** : Les normales de chaque plan voisin sont calculées. La croissance continue tant que leurs différences angulaires sont inférieures au seuil fixé
- La **planéité locale** : La distance orthogonale entre chaque point et le plan est calculée. Un seuillage est effectué pour valider ou non les points dans la région.

Cette technique comporte des inconvénients. Elle est sensible au bruit présent dans le nuage. On observe également ses limites en présence d'échantillonnage irrégulier ou de masque important. Ces deux caractéristiques sont très largement présentes dans les relevés de bâtiments.

IV.1.2 Segmentation par histogramme

La densité permet d'avoir des informations sur la répartition des points dans le nuage grâce à un histogramme. Ainsi, des régions peuvent être créées selon un critère de proximité. Le seuillage peut aussi être effectué en fonction du niveau de gris de chaque point, mais cette méthode, plus difficile à mettre en place ne sera pas utilisée pour notre application.



Figure 14 : Histogramme de la densité de point (abscisse) en fonction de la hauteur (ordonnée)

L'illustration ci-dessus est un histogramme réalisé à partir du nuage de points des vestiaires. On aperçoit les deux pics principaux qui correspondent au sol et plafond.

Cette méthode est efficace lorsque les éléments à segmenter marquent une forte discontinuité dans la densité. Lorsque le relevé est bruité, il est plus difficile d'extraire des données pertinentes.

IV.1.3 Segmentation par reconnaissance automatique de formes géométrique

La détection et l'extraction de formes géométriques sont les bases de ce type de segmentation. Les paramètres mathématiques des objets sont alors estimés.

On note l'utilisation majeure de deux techniques, la transformée de Hough et l'algorithme RANSAC.

IV.1.3.1 Hough

Cette technique de reconnaissance de forme a été inventée par Paul Hough en 1962 pour le traitement des images numériques. Il existe la variante de la transformée de Hough 3D pour permettre son utilisation avec des données laser.

Son principe est identique en traitement d'image. L'algorithme détecte des formes paramétriques (droites, plans, cylindres...) dans l'espace objet : l'espace cartésien de l'image 2D ou du nuage de points 3D à partir d'un espace de paramètres, appelé « espace de Hough ». Nous obtenons ainsi les principales formes caractéristiques qui constituent l'image comme l'illustre la figure ci-dessous.

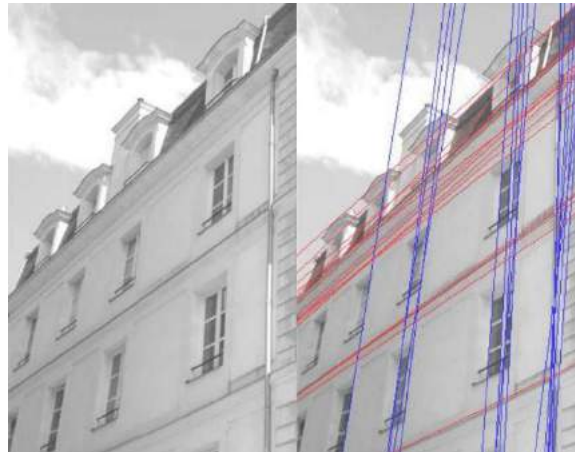


Figure 15: Détection de Hough appliquée à une façade (Source : Image ESGT)

(Vosselman, 2004) a utilisé cette technique pour la détection de sphères, cylindres et plans situés dans un environnement de type industriel. Le principal défaut de cette méthode est le temps de calcul qui peut s'avérer long lorsque les données en entrée sont importantes. Ce qui est notre cas avec l'utilisation de nuage de points 3D.

IV.1.3.2 RANSAC (RANDOM SAMPLE CONSENSUS)

Introduite pour la première fois par (Fischler & Bolles, 1981), elle fut utilisée en premier lieu dans le traitement des images 2D. Son usage s'est ensuite développé dans la 3D. Cette méthode est de plus en plus utilisée grâce à sa robustesse, mais elle nécessite le renseignement de paramètres. En effet, c'est une méthode itérative non déterministe.

Une primitive géométrique est calculée à partir d'un échantillon choisi de manière aléatoire. Sa validité est testée sur la totalité des points du nuage, créant des inliers et outliers, respectivement des points validés par la primitive ou des points aberrants. Au bout de n itérations, le processus s'arrête et ajuste la primitive à l'ensemble des inliers. Les n itérations peuvent être calculées par une formule spécifique ou définies par l'utilisateur.

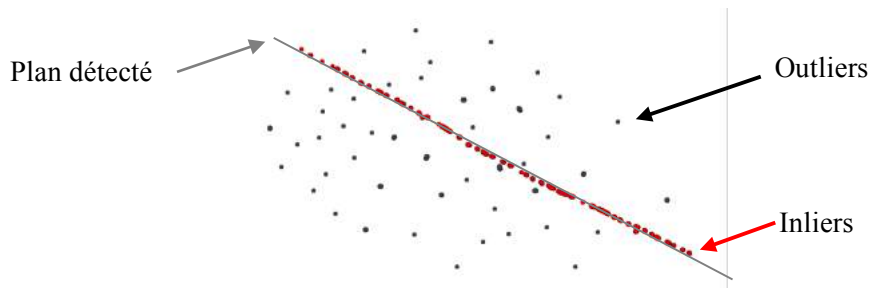


Figure 16 : Résultat de l'algorithme Ransac, vue de dessus (Source : Revue XYZ n°141, modifié)

(Boulaasal, 2010) a étudié en détail les possibilités de Ransac. Pour améliorer les résultats, il a choisi de combiner son utilisation avec l'agrégation de points. Il existe donc de nombreuses variantes de l'algorithme.

IV.1.4 Méthode choisie pour la détermination de plan

Suite à l'étude des différentes segmentations possibles, il est désormais plus aisé de définir les axes de développement envisageables. L'étude réalisée par (Heo et Al, 2015) indique que la difficulté majeure réside dans les nombreuses zones d'occlusions présentes dans le nuage. Il faut donc trouver un algorithme de détection robuste. (Tarsha-Kurdi et al, 2007) ont réalisé une étude comparative de Hough et Ransac pour l'extraction de plans de toit à partir de données LIDAR. Il semble que Ransac soit le plus adapté, c'est pourquoi nous avons opté pour son utilisation.

Le pseudo-code est visible à l'**Annexe 3**. Le nombre des itérations est défini arbitrairement. Un trop grand nombre d'itération entraînerait un allongement du temps de calcul conséquent pour obtenir des résultats, certes meilleurs, mais peu utiles étant donné la précision du relevé. Le scanner utilisé, un Faro Focus 3D 120, présente une erreur systématique de 2 mm, à un sigma entre 10 et 25 m. Avec la composition des différentes erreurs, on observe une erreur moyenne de 5 mm, à un sigma.

De même, la distance de validation d'un point au plan sera déterminée par l'utilisateur fonction de l'échantillonnage et du bruit présent dans les données.

Le plan choisi à la suite des n itérations est celui qui possède le plus de points validés. La primitive est ajustée à ces inliers⁹. Il s'agit donc d'un plan moyen.

Ses paramètres sont calculés à partir d'une résolution matricielle. Le nombre d'équations est très supérieur à celui des inconnues, égale à quatre. Les paramètres sont calculés à partir d'une matrice SVD. La décomposition en valeurs singulières permet d'obtenir trois matrices, l'une d'elle contient un ensemble de vecteurs de base orthonormé et par conséquent les paramètres du plan.

L'avantage de cette méthode est d'obtenir des valeurs réduites d'un point de vue mathématiques. Nous n'avons donc pas besoin de diviser les paramètres calculés par le module.

⁹ Le terme inliers ou points justes sera utilisé indifféremment dans la suite du mémoire

IV.2 Ecriture de l'algorithme

IV.2.1 Solution envisagée

Les données brutes issues du scanner laser 3D sont lues et traitées avec le logiciel RealWorks. Suite à cela, il faut réaliser un nettoyage grossier du nuage en supprimant les points aberrants. Cette étape n'est pas obligatoire mais permet d'avoir de meilleur résultat. De plus, elle ne nécessite que quelques minutes et permet d'avoir une meilleure approche du nuage dans sa globalité.

Le processus automatique consiste en la segmentation successive du nuage. Les caractéristiques des plans sont ensuite calculées. Les coordonnées des extrémités des segments se trouvant sur le plan, correspondant aux différents murs sont exportés.

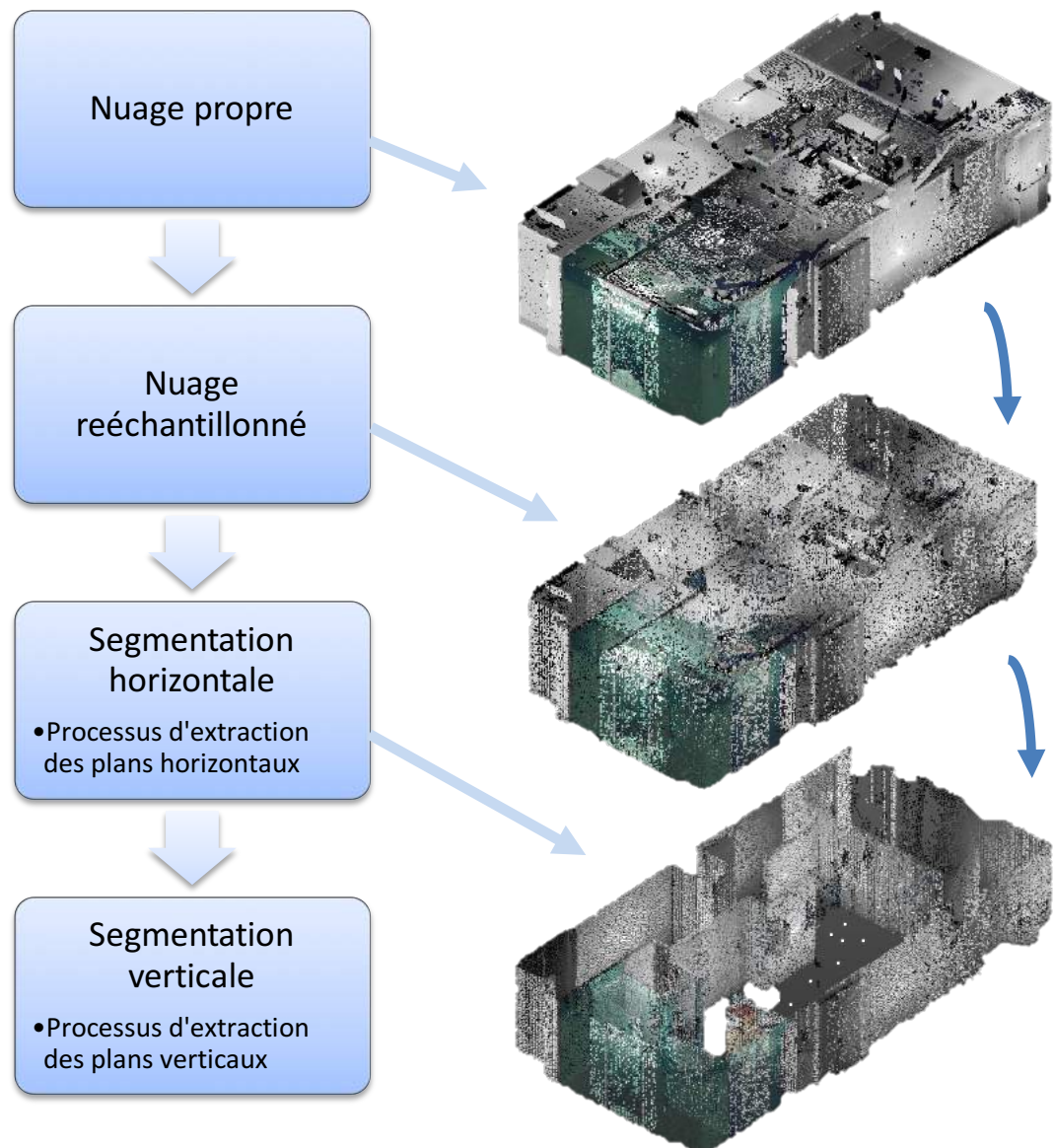


Figure 17 : Processus de segmentations successives envisagées

L'étape de rééchantillonnage consiste à fixer une certaine densité de points au nuage. Nous choisirons un rééchantillonnage spatial de 50 mm. La taille des données est réduite de

manière drastique tout en gardant les informations nécessaires à notre travail. La taille du nuage représentant les vestiaires, utilisé pour les tests, diminue drastiquement (taille initial du fichier las : 1,85 Go, taille réduite : 2,2 Mo). L'exploitation des données dans le script sera facilitée et le temps de traitement diminué.

À noter qu'il n'y a pas d'interaction directe entre le nuage présent dans le logiciel de modélisation et les données utilisées dans le programme.

IV.2.2 Segmentation horizontale : détermination des niveaux du sol et du plafond

Il s'agit du premier processus effectué par le programme. Il est indispensable pour assurer la suite de la détection verticale mais aussi la modélisation. La majorité des solutions d'automatisations disponibles dans Revit nécessite la création des niveaux manuellement. Nous avons donc choisi de les déterminer automatiquement. Ils seront ensuite créés pour être utilisés comme contraintes inférieures et supérieures pour les murs.

IV.2.2.1 Seuillage par histogramme

Un histogramme de la densité de points en fonction de la hauteur est réalisé en premier lieu. (Cf **partie IV.1.2, Figure 14**). L'intervalle utilisé est compris entre 5 et 10 cm pour assurer la présence de deux pics principaux. Ces derniers contiennent les points représentant le sol et le plafond.

Les points contenus dans ces pics sont ensuite isolés pour être traités de manière individuelle.

Les données sont ensuite divisées pour être exploitées. L'ensemble des points dont la hauteur est supérieure ou inférieure à, respectivement, la zone du plafond et du sol sont supprimés. Ils sont visibles en rouge sur l'illustration ci-dessous.

Les points colorisés en bleu sont ceux contenus dans les pics des histogrammes représentant le sol et le plafond. Le reste du nuage, en vert, sera utilisé pour la détection des plans verticaux.

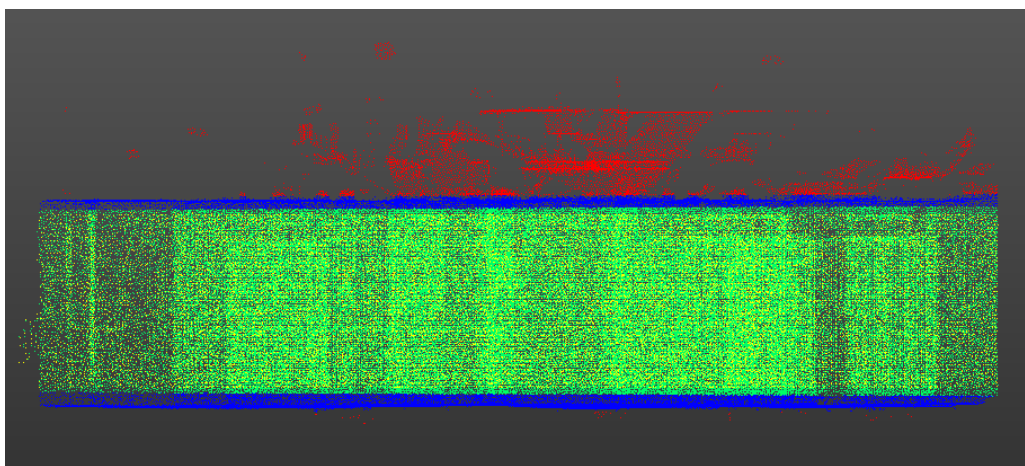


Figure 18 : Nuage colorisé représentant les différentes régions segmentées

IV.2.2.2 Utilisation de Ransac

Lorsque le nuage est segmenté, nous pouvons utiliser l'algorithme Ransac dans les deux ensembles de points représentant le sol et le plafond. Nous avons une information supplémentaire sur le type de plan recherché. Il s'agit d'un plan horizontal. Le cas d'un sol ou plafond non horizontal n'est pas traité. En effet, son automatisation n'est pas possible. Revit gère assez mal ce type de surface et nécessite la réalisation de forme spécifique.

Une condition est donc ajoutée lors du choix aléatoire des trois points d'initialisation. On peut alors parler d'algorithme Ransac forcé. Comme le précise (Schnabel & Wahl, 2007), il s'agit simplement d'une différence d'initialisation et non d'un gain de performance.

Le filtre appliqué lors de la sélection des points de l'échantillon est réalisé en fonction de la hauteur des points.

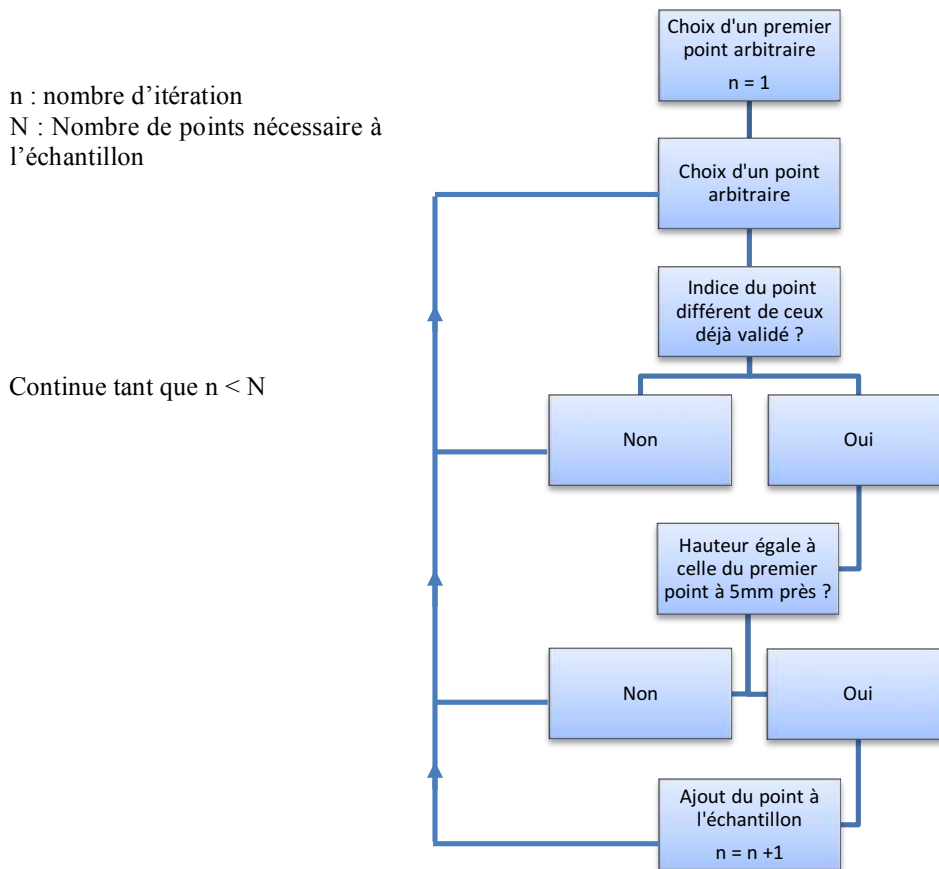


Figure 19 : Création de l'échantillon pour Ransac

À la suite du traitement nous obtenons un plan moyen défini par un nombre maximum de points. Seulement, la primitive ajustée n'est pas parfaitement horizontale. Un second histogramme est alors réalisé. La valeur du niveau est calculée en effectuant la moyenne des bornes de l'intervalle de l'histogramme possédant le plus grand nombre de points.

Les hauteurs du sol et du plafond sont désormais connues et devront être exportées sous Revit pour créer les niveaux et les vues correspondantes. Leurs précisions seront étudiées dans la **Partie V**.

IV.2.3 Segmentation verticale : détermination des plans verticaux

Pour cette seconde étape d'automatisation, nous nous intéresserons au nuage de points résultants du seuillage effectué suite à la réalisation de l'histogramme. Il contient donc uniquement les points compris entre le sol et le plafond.

L'algorithme Ransac est de nouveau utilisé de manière forcée. Afin d'éviter un nombre d'itération inutile, une condition spatiale a été ajoutée. Cela permet d'éviter de tester la validation de plan aberrant et donc une perte de temps.

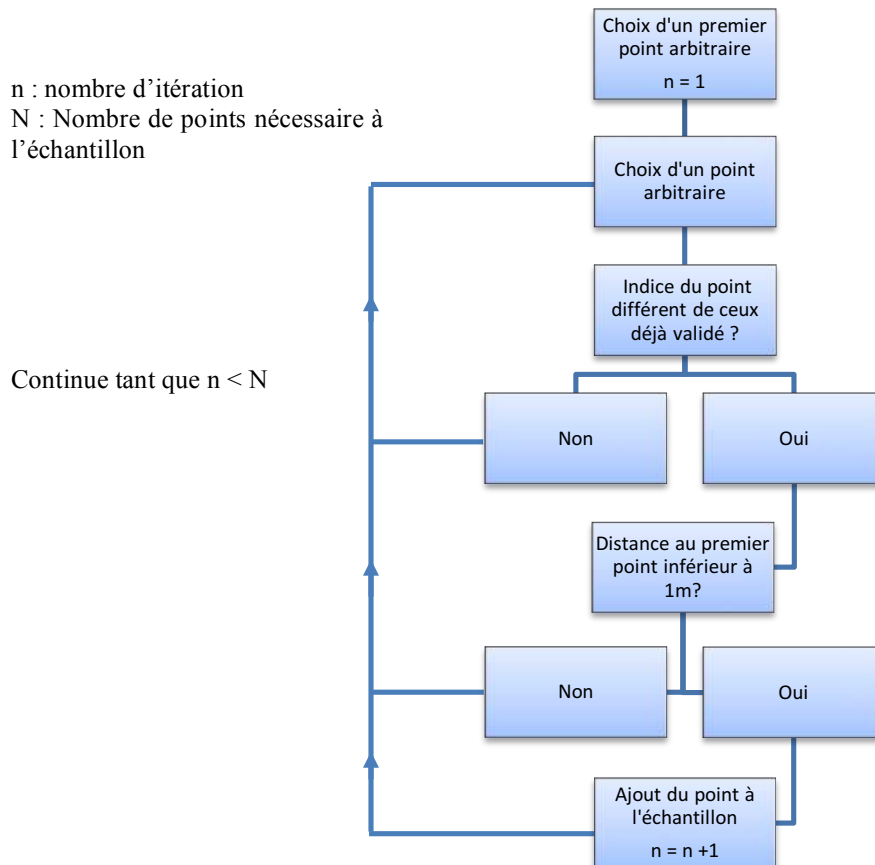


Figure 20 : Échantillonnage réalisé pour Ransac afin de détecter les plans verticaux

Lorsque l'échantillon est formé, la boucle comportant l'algorithme Ransac commence. Cette boucle permet d'effectuer le traitement tant que le nombre d'itérations maximales n'est pas dépassé. Comme énoncé dans la **Partie IV.1.4**, le nombre d'itération est défini par l'utilisateur. Différents tests sur la fluctuation de cette valeur ont été effectués et seront présentés dans la **Partie V.1**.

Durant ces itérations, la validité des points est déterminée par une condition spatiale : la distance de chaque point au plan calculé à partir de l'échantillon. Si elle est inférieure à un seuil défini par l'utilisateur, le point est considéré comme juste et appartenant au plan.

Pour permettre une détection précise et de qualité, l'algorithme RANSAC classique a été revu. Le nombre de points nécessaires pour valider un plan évolue au fur et à mesure de la détection. Ainsi les plus grands plans sont détectés en premier, puis la valeur de la condition diminue progressivement. La boucle cesse lorsque le nombre de points nécessaires à la validation a atteint un certain seuil.

De même, pour assurer des résultats fiables et éviter les doubles détections, les points validés sont supprimés du nuage source. L'allègement des données entraîne une hausse de la rapidité d'exécution. Le temps de traitement est une variable importante dans les tâches d'automatisation. C'est pourquoi le programme réalisé s'efforce d'être le plus efficace que possible.

Seulement lors de relevés intérieurs de bâtiment, il est possible d'être confronté à un milieu meublé. Le bruit est alors important et malgré la robustesse de l'algorithme Ransac, nous avons pu noter la détection de plans aberrants. Pour limiter au maximum ces résultats anormaux, deux autres filtrages sont réalisés :

- Filtrage altimétrique préalable : effectué en amont du traitement du nuage en fonction des niveaux du sol et du plafond déterminé auparavant. Par exemple, le programme prend en compte uniquement les points supérieurs à un mètre du sol. Cela permet de s'affranchir de certains mobiliers comme les bureaux. En effet ces derniers peuvent parfois être détectés comme plan.
- Non prise en compte des plans horizontaux : effectué en aval du traitement du nuage. Lorsque les plans trouvés à l'aide de Ransac sont horizontaux ou quasi-horizontaux, ils sont écartés de la suite du traitement. Aucun point n'est supprimé du nuage de points et le traitement continu.

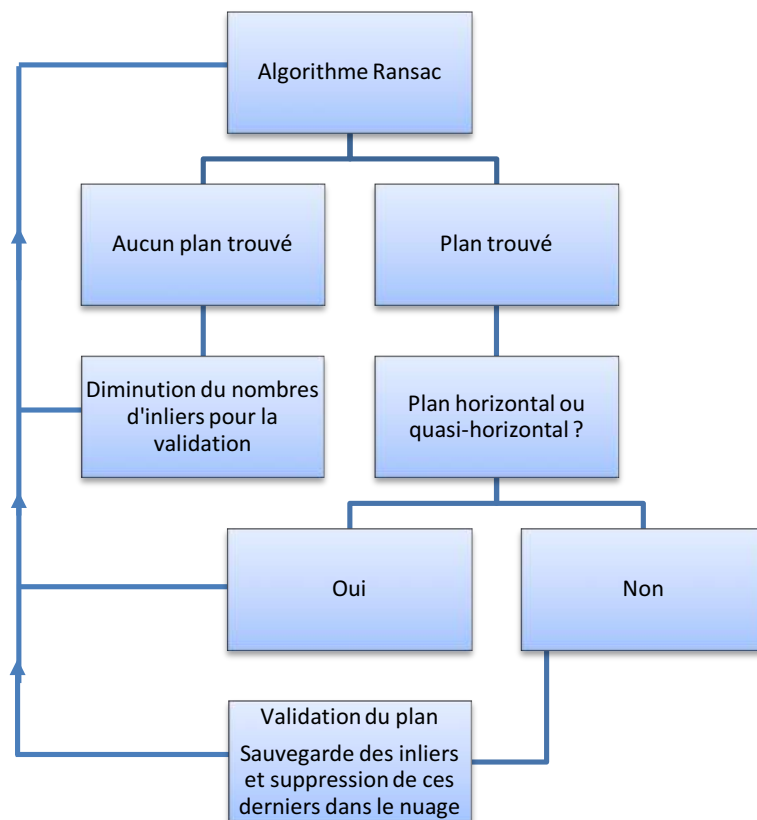


Figure 21 : Détection successive de plans dans un nuage

Nous obtenons alors un ensemble de plans représentant l'alignement des murs. L'ensemble du processus est détaillé en **Annexe 4**. Nous devons désormais nous intéresser à l'export de ces éléments afin de les intégrer dans le logiciel de modélisation Revit.

IV.3 Adaptation du programme dans Revit

La première partie du script de détermination des niveaux et des plans verticaux ou quasi-verticaux a été écrite et testée de manière autonome. Les paramètres des plans calculés ne sont pas utilisables dans Revit pour dessiner des murs. De même, lorsque ces derniers ne sont pas verticaux ou présentent un fruit, la modélisation est difficile et nécessite la création d'objets spécifiques. Nous verrons tout d'abord la méthode choisie pour l'export des éléments détectés puis l'intégration du programme en tant que plug-in dans Revit.

IV.3.1 Export des éléments détectés

Les plans détectés peuvent parfois représenter un alignement de plusieurs murs comme le représente la **Figure 22**. Il est donc nécessaire d'extraire chaque voile. En effet, par définition, un plan, par conséquent une droite, s'étend à l'infini. Il faut donc définir un espace de définition.

Dans Revit, un mur est modélisé en indiquant les deux points extrêmes sur un plan 2D et en désignant les contraintes de hauteur. Il est donc judicieux d'exporter les coordonnées des extrémités des segments.

À partir des paramètres du plan détecté, nous déterminons les caractéristiques d'une droite dans le plan OXY inscrite dans le plan moyen en Z. Nous nous ramenons à un espace à deux dimensions.

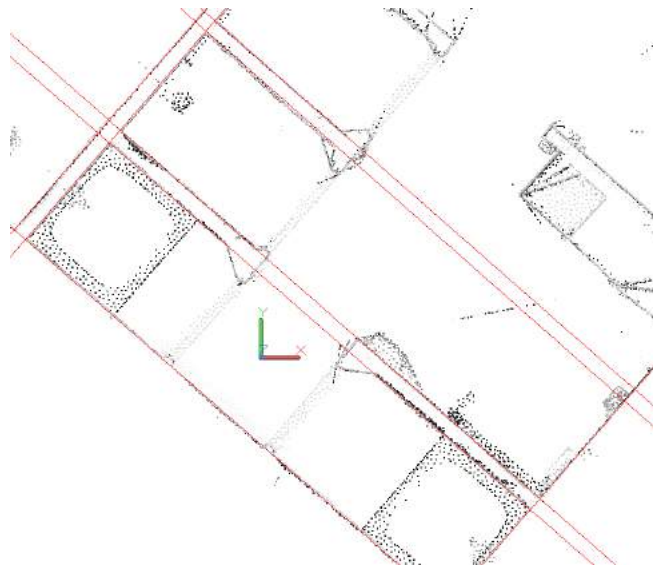


Figure 22 : Visualisation sous AutoCad des alignements de murs trouvés par le programme

Pour détecter chacun des murs individuellement, un changement de repère est effectué selon chacune des droites calculées. L'axe de référence Ox du repère général devient l'axe Ox', orienté selon les droites. L'ensemble des points subit une translation et une rotation.

Cette étape est obligatoire pour permettre la réalisation d'un histogramme de densité de points en fonction de l'axe Ox' pour chacune des droites. Les points considérés sont les inliers du plan à partir duquel la droite a été calculée. Cette procédure permet également d'invalider des plans, trouvés avec le processus Ransac, ne correspondant pas forcément à un mur. La robustesse du programme est ainsi améliorée.

L'histogramme est réalisé avec un pas de 5 mm sur une plage comprise entre les abscisses extrêmes des inliers. Un exemple est visible ci-contre.

Une recherche des différents pics de densité est ensuite effectuée. Les bornes de ces pics correspondent aux extrémités des segments de murs. Afin d'assurer la détection de plusieurs voiles alignés, elle se traduit par la création d'une boucle itérative dans le script Python.

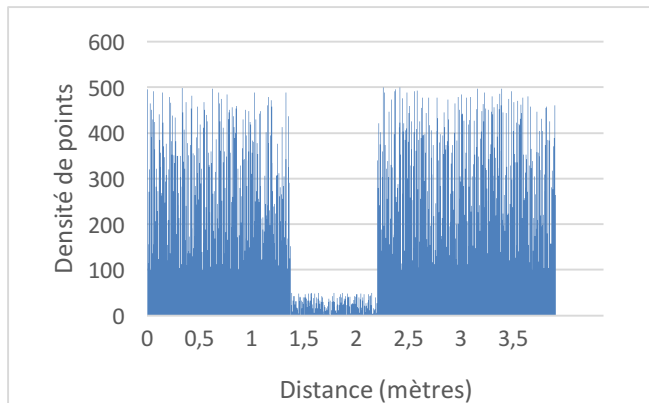


Figure 23 : Histogramme réalisé le long d'une droite dans le repère local

Pour éviter de fausses détections, une dernière condition de validation porte sur la longueur minimale d'un mur. Elle est fixée à 20 cm.

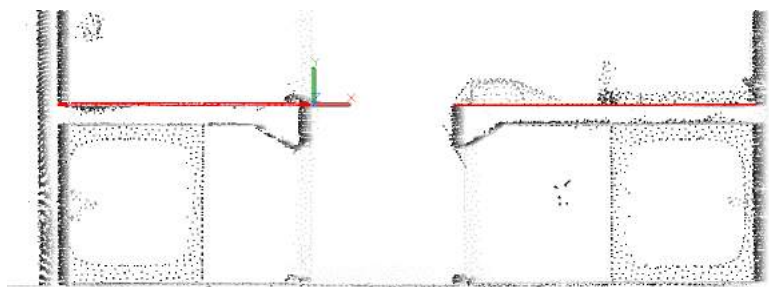


Figure 24 : Mur dessiné à partir des extrémités calculées dans le repère local

Le résultat obtenu est très satisfaisant, comme l'illustre la **Figure 24**. Malgré le bruit présent à droite, les deux murs s'arrêtent au bon endroit.

Les points sont ensuite à nouveau transformés dans le repère général.

IV.3.2 Intégration dans Revit

À la suite du traitement, nous obtenons une liste de points correspondant aux extrémités des segments et une liste contenant les valeurs des niveaux. Il faut donc ajouter quelques lignes de codes afin de procéder à l'initialisation dans l'environnement de Revit et procéder à des modifications dans le document. Ces lignes sont renseignées dans l'API.

Il suffit ensuite de créer les lignes puis de les dessiner en utilisant les fonctions existantes dans l'API de Revit. La méthode est similaire pour les niveaux. Le reste du script reste inchangé et est compilé avec ces deux fonctions pour n'être qu'un seul fichier.

Dans l'onglet « Complément » de Revit, apparaît l'icône relatif au programme, visible à la **Figure 25**. Il suffit à l'utilisateur de cliquer dessus pour lancer le processus.



Figure 25 : Icônes de l'éditeur Python et du programme réalisé

V Résultats

Le résultat obtenu suite au lancement du plug-in est illustré à la **Figure 26**. L'utilisateur crée les murs en cliquant simplement sur les lignes visibles dans la vue active. Il s'agit ensuite d'un simple travail de conversion d'objet ligne en objet mur. Cette étape aurait pu être incluse dans l'automatisation. La raison est explicitée dans la **Partie V.3**.

Après quelques légers ajustements, nous obtenons le résultat visible à la **Figure 27**. Les reprises se limitent à quelques prolongements et ajustements, ou à la création de petits murs ayant une longueur inférieure à celle de validation.

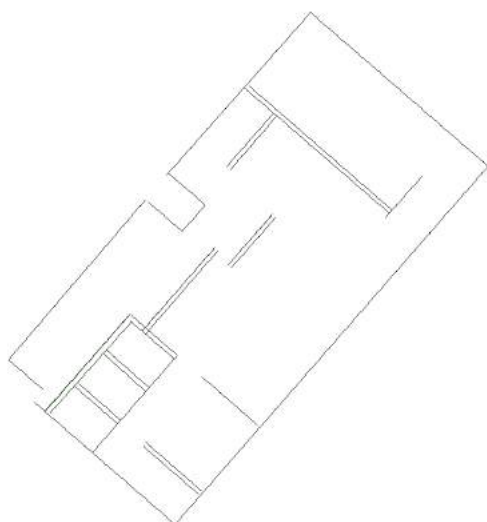


Figure 26 : Résultats obtenus en utilisant le plug-in

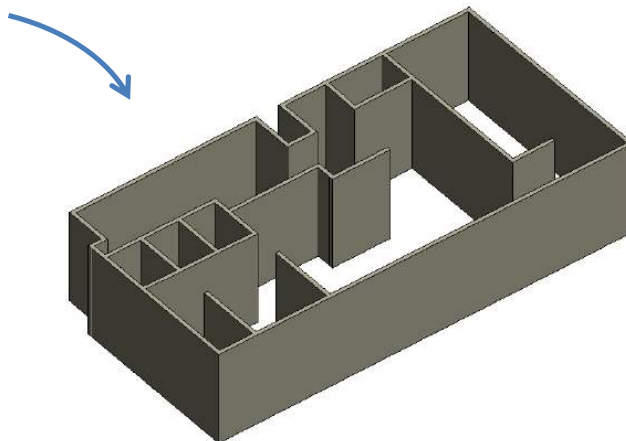


Figure 27 : Vue 3D des murs modélisés sous Revit à partir des résultats du programme

La détection est dépendante de certaines conditions et caractéristiques, nécessaires au fonctionnement du script Python. Nous allons donc étudier les influences de ces différents paramètres sur les résultats obtenus. Ensuite, nous nous intéresserons à la qualité des résultats obtenus. Enfin nous verrons les pistes d'améliorations possibles du programme réalisé.

Concernant la détection des niveaux, le processus est assez rapide. Il faut environ une minute pour déterminer les hauteurs et effectuer la segmentation horizontale. Les valeurs obtenues sont toutes comprises dans un intervalle de deux mm par rapport aux références mesurées sur le terrain. Il semble difficile d'améliorer ces résultats étant donné le bruit présent dans le nuage. Nous resterons donc sur ces valeurs définies qui semblent être le meilleur compromis entre durée et qualité.

V.1 Variations des différents paramètres

La qualité d'une automatisation réside dans sa vitesse d'exécution et la qualité de ses résultats. Ces derniers doivent être aussi bons que lors d'une réalisation manuelle. Nous allons donc étudier les conséquences engendrées par les variations des différents paramètres.

À titre de comparaison, nous prendrons comme référence la maquette créée manuellement à partir du nuage de points sous Revit. Sa réalisation a demandé 12 minutes pour la création de 22 murs, soit une décomposition en 44 segments. Cette durée ne prend pas en compte le temps nécessaire pour insérer le relevé et la détermination des niveaux.

Une série de 13 tests a été réalisée. Seule une valeur a été modifiée à chaque fois pour apprécier au mieux l'influence des différents paramètres. Le **Tableau 4** indique le récapitulatif des résultats.

Récapitulatif des tests					
Numéro du test	Distance de validation (m)	Itérations maximales	Taille minimale des murs (m)	Durée (min)	Nombre de murs calculés
1	0,025	10	0,20	1,46	44
2	0,025	15	0,20	2,52	42
3	0,100	35	0,20	3,22	35
4	0,025	25	0,20	4,17	35
5	0,050	35	0,20	4,22	44
6	0,025	35	0,20	5,26	36
7	0,020	35	0,20	5,30	39
8	0,025	35	0,15	5,39	46
9	0,025	35	0,10	5,43	47
10	0,030	35	0,20	5,44	43
11	0,025	45	0,20	6,05	36
12	0,010	35	0,20	6,06	35
13	0,025	100	0,20	12,02	37

Tableau 5 : Récapitulatif des différents tests effectués selon la durée de traitement

La durée d'exécution connaît de très fortes variations, pouvant s'étendre jusqu'à 10 minutes supplémentaires. Les trois paramètres principaux ont donc une grande influence sur le processus. Un temps de traitement long n'engendre pas systématiquement de meilleurs résultats. Il est donc intéressant de trouver le meilleur compromis.

On n'observe cependant aucune corrélation directe entre le nombre de plans détectés et le temps de traitement. De même, la quantité de murs trouvés ne reflète pas totalement la qualité des résultats. Elle est indiquée pour mieux illustrer la variation de certains paramètres, notamment la taille minimale des murs.

Les durées d'exécution désignées ici représentent le temps nécessaire à la détection et à l'export des extrémités des segments. Pour connaître la durée totale de la modélisation, il faut ajouter environ 1 minute (temps de détection des niveaux) ainsi que 2 minutes supplémentaires nécessaires aux ajustements et aux prolongements des segments et à leurs conversions en murs.

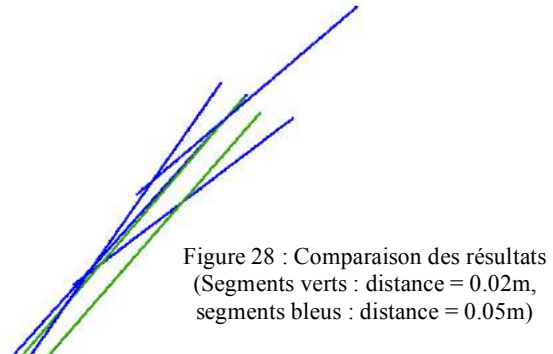
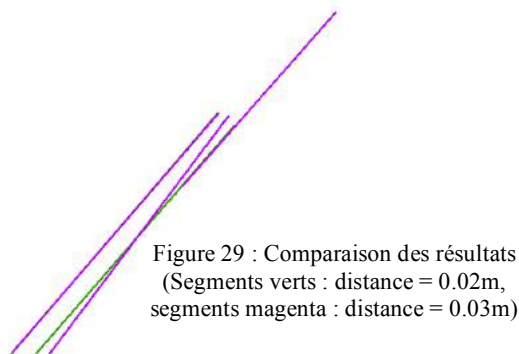
V.1.1 Variations de la distance de validation

Les premiers tests effectués concernent la distance de validation d'un point à un plan. Pour rappel, la distance de rééchantillonnage est de cinq cm. Les valeurs des autres paramètres utilisés ont été fixées en fonction de tests réalisés préalablement afin de déterminer des valeurs initiales.

Variations de la distance					
Numéro du test	Distance de validation (m)	Itérations maximales	Taille minimale des murs (m)	Durée (min)	Nombre de murs calculés
12	0,010	35	0,20	6,06	35
7	0,020	35	0,20	5,30	39
6	0,025	35	0,20	5,26	36
10	0,030	35	0,20	5,44	43
5	0,050	35	0,20	4,22	44
3	0,100	35	0,20	3,22	35

Tableau 6: Variation de la durée de traitement en fonction de la distance de validation

Avec une distance de validation supérieure à la moitié de celle de rééchantillonnage, on observe une plus forte présence de murs aberrants comme l'illustre les deux figures ci-dessous. Les segments verts sont les murs de référence, avec une distance de validation de 2 cm.



Lorsque la distance s'accroît, la durée diminue et le nombre de murs calculés augmente. La condition est moins contraignante, la validation d'un plan est donc plus aisée et s'effectue plus rapidement. Les **Figures 28 et 29** illustrent l'impossibilité de se baser uniquement sur le nombre de plans pour déterminer la qualité des résultats.

Un dernier test a été réalisé avec une distance de 10 cm. Comme attendu, les résultats sont vraiment aberrants et ne représentent que rarement les murs. La valeur de référence à ne pas dépasser pour assurer de bons résultats est donc la moitié de la distance d'échantillonnage.

V.1.2 Variations du nombre d'itérations

Pour une distance de validation et une taille minimale fixe, nous obtenons les résultats suivants lorsque le nombre d'itérations varie :

Variations du nombre d'itérations					
Numéro du test	Distance de validation (m)	Itérations maximales	Taille minimale des murs (m)	Durée (min)	Nombre de murs calculés
1	0,025	10	0,20	1,46	44
2	0,025	15	0,20	2,52	42
4	0,025	25	0,20	4,17	35
6	0,025	35	0,20	5,26	36
11	0,025	45	0,20	6,05	36
13	0,025	100	0,20	12,02	37

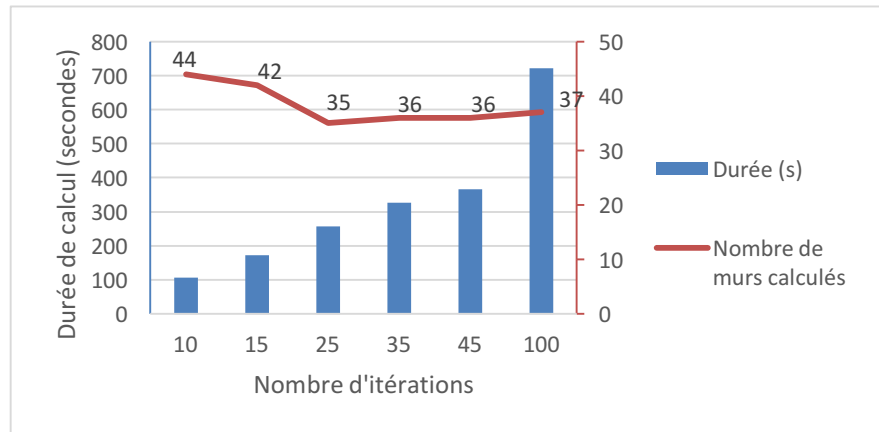
Tableau 7 : Durée de traitement du programme en fonction du nombre d'itérations

Logiquement, les itérations étant plus élevées, la durée de traitement augmente pour effectuer la boucle autant de fois que défini. Lorsque les itérations sont trop faibles, c'est à dire inférieures à 25, l'initialisation n'est pas correcte. Les plans trouvés sont assez mauvais et nombreux. La valeur charnière est donc 25. On observe une plus forte variation sur la durée entre 25 et 35 itérations, de l'ordre de 1,09 min soit 26% d'augmentation. Entre 35 et 45, on observe seulement 15% d'augmentation.

Un dernier test a été effectué en aval pour vérifier le comportement du programme avec un nombre d'itération important. Avec un total de 100 itérations, la détection s'effectue en 12,02 minutes. Le temps de traitement commence à être relativement long étant donné la taille du nuage source. De plus, le nombre de plans détectés est similaire aux autres résultats. Il n'y a donc quasiment aucune autre information supplémentaire fournie.

Sur la **Figure 30**, on observe que la zone optimale pour le nombre d'itérations est entre 25 et 45. Pour la suite, nous utiliserons donc la valeur médiane : 35.

Figure 30 : Variation de la durée de traitement en fonction des itérations



Les modifications du nombre d'itérations n'ont donc que très peu de conséquence sur le nombre de murs calculés. Les meilleurs plans sont donc déterminés rapidement grâce au bon échantillonnage. Les différents voiles détectés sont les mêmes et ne présentent que quelques millimètres d'écart.

V.1.3 Variations de la taille minimale des murs

Nous avons observé sur la **Figure 27** l'absence de certains murs. Ces derniers mesurent environ 40 cms. Les tests effectués sont récapitulés dans le **Tableau 8**.

Variations de la taille minimale des murs					
Numéro du test	Distance de validation (m)	Itérations maximales	Taille minimale des murs (m)	Durée (min)	Nombre de murs calculés
9	0,025	35	0,10	5,43	47
8	0,025	35	0,15	5,39	46
6	0,025	35	0,20	5,26	36

Tableau 8: Durée de traitement du programme en fonction de la taille minimale des murs définie

Les variations de durée sont faibles, contrairement au nombre de murs calculés. Cependant, le nombre de plans calculés par l'algorithme RANSAC est le même. La nuance est importante. En effet, cette variable est utilisée lors du calcul des coordonnées extrêmes des segments situés sur la droite. Ainsi, plus sa valeur sera petite, plus le script détectera une multitude de voiles sur un même alignement. Une valeur trop faible entraînerait la création d'un mur pour une grande majorité des pics visibles sur l'histogramme.

Dans notre cas, nous possédons uniquement le relevé intérieur avec des murs d'une épaisseur de 10 cm. Le seuil utilisé lors du test 9, d'une valeur de 10 cm, semble donc le plus optimal. Cependant, deux murs, dont un visible à la **Figure 31**, d'une longueur de 40 cm ne sont malgré tout pas détectés.

Il s'agit ici d'un autre problème. Il concerne le seuil minimum d'inliers présents dans un plan pour permettre sa validation.

Seulement, cette valeur ne peut pas être baissée à moins de 150 points au risque de fausses déterminations. Ils auraient été détectés s'ils étaient contenus dans un plan valide. On observe donc les limites de notre plug-in.

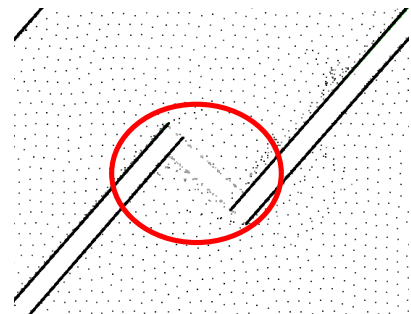


Figure 31 : Mur de 40 cm non détecté

Il ressort de ces tests que cette variable est secondaire. Certes, elle conditionne les résultats mais plus faiblement que les précédentes. En effet, elle agit seulement sur les éléments exportés et non sur les plans détectés. Elle est plus sensible au type de données en entrée et aux caractéristiques du bâtiment relevé.

V.2 Qualités des résultats

La qualité des résultats abordée dans cette partie est complémentaire à l'étude des variations de durée afin de trouver les meilleurs paramètres et de comprendre leurs effets sur la détection.

Nous allons donc nous intéresser à la qualité des résultats obtenus à chaque test. Pour ce faire, nous procéderons à la comparaison des différentes maquettes créées entre elles mais aussi avec le nuage.

V.2.1 Comparaison avec Autocad

Nous allons comparer la position de cinq points répartis de façon homogène sur le bâtiment à modéliser. Les écarts de positions sont quantifiés par rapport aux murs dessinés manuellement.

Les tests effectués avec des valeurs de paramètres aberrantes n'ont pas été traités. Les résultats ne sont pas pertinents.

Un tableau comparatif complet a été établi et est disponible en **Annexe 5**. Les écarts quantifiés restent assez faibles et sont proches du centimètre. Cette valeur est acceptable étant donné le bruit du nuage illustré à la **Figure 34**. Un récapitulatif des écarts est visible dans le tableau ci-dessous.

Numéro des tests	Ecart moyens (m)	Ecart minimums (m)	Ecart maximums (m)
4	0,007	0,001	0,012
5	0,009	0,001	0,017
6	0,010	0,006	0,018
7	0,010	0,001	0,022
8	0,009	0,001	0,015
9	0,007	0,004	0,010
10	0,008	0,002	0,013
11	0,008	0,001	0,016
12	0,008	0,003	0,014
Moyenne	0,008	0,002	0,015

Tableau 9 : Répartition des écarts calculés sur les différents tests

La moyenne des écarts se situe à 8 mm. Il faut prendre en compte que ces écarts ont été définis en fonction d'une référence dessinée par un utilisateur. Elle a été réalisée à partir d'une orthophoto représentant une coupe du nuage. La position des murs présente donc déjà des erreurs accidentelles. On apprécie donc une qualité relative.

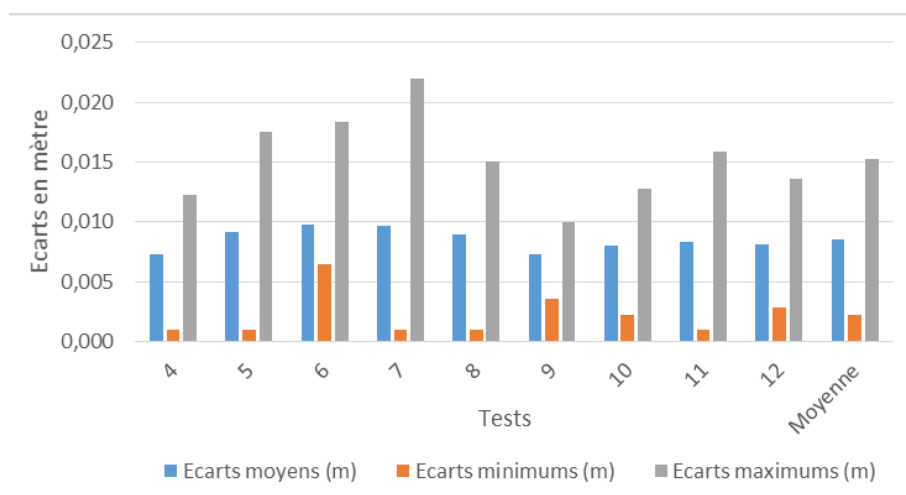


Figure 32 : Répartition des écarts selon les tests

Les écarts moyens visibles sur la figure ci-dessus sont relativement proches, avec un écart de 3 mm entre les valeurs extrêmes. Cependant la répartition des écarts est hétérogène. Une différence élevée entre les valeurs minimales et maximales indique une forte distorsion du bâtiment détecté par rapport à l'existant.

Des résultats de qualités sont obtenus pour un temps moyen compris entre 5 et 6 minutes. On observe une nouvelle fois qu'un temps de calculs plus long, ne signifie pas de meilleurs résultats.

La **Figure 33** illustre les propos énoncés dans la **Partie V.I.** concernant les variations des paramètres. Le test numéro 9 regroupe les meilleures caractéristiques et donne les meilleurs résultats. Pour rappel, les caractéristiques :

- Distance de validation : 2,5 cm
- Nombres d'itérations : 35
- Longueur minimale des murs pour validation : 10 cm

La durée est de 5,43 minutes, soit un gain de temps d'environ 50%. Notre analyse est donc justifiée par la qualité de ces écarts. Pour valider les valeurs de nos paramètres, nous allons désormais comparer notre maquette contenant les murs détectés automatiquement avec notre nuage de points initial.

V.2.2 Comparaison avec l'outil CloudCompare

CloudCompare est un logiciel permettant de réaliser des comparaisons de mesures tridimensionnelles. Nous pouvons donc étudier les différences entre des éléments modélisés ou des nuages de points.

La maquette numérique réalisée à partir des murs détectés automatiquement va être transformée en nuage de points selon un échantillonnage identique à celui de référence, soit 5 cm. Cette conversion est nécessaire pour l'utilisation du logiciel. Les distances entre les points proches seront calculées et permettront d'effectuer la comparaison.

Cette étude est intéressante puisque la qualité calculée n'est pas relative à une autre détermination de la position des murs mais bien à celle relevée par le scanner laser 3D.

Les écarts les plus conséquents sont observés au niveau des ouvertures. En effet, la maquette ne possède pas encore les ouvertures de modélisées, logiquement, les écarts sont plus importants.

De plus, le nuage source possède du bruit. La **Figure 34** illustre le bruit qui diminue notre capacité à quantifier la qualité des résultats. La ligne rouge est tracée à partir de deux points présents dans le nuage. Sa distance est de 2,4 cm. La surface modélisée étant rectiligne, des écarts sont logiquement observables.

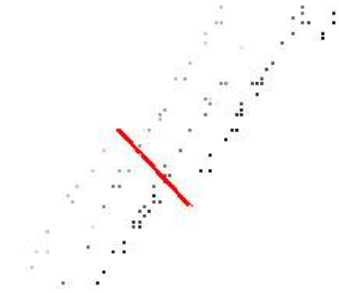


Figure 33 : Représentation de la surface d'un mur sur le nuage de points

Cependant il est possible de donner un ordre de grandeur. La majeure partie des différences de distances est située entre deux et trois cm comme l'illustre l'histogramme de la **Figure 35**.

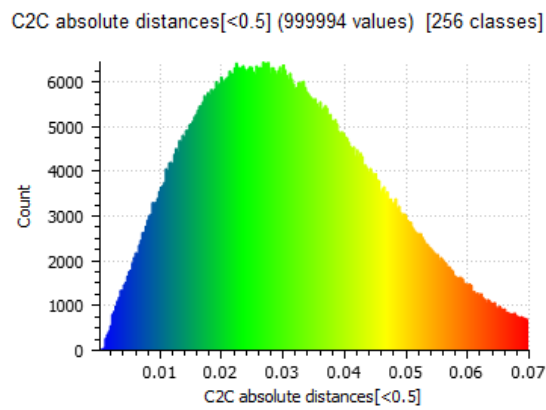


Figure 34 : Histogramme issu de la comparaison des points

Ces écarts peuvent sembler élevés. Il faut tout de même prendre du recul par rapport à ces valeurs. Pour une comparaison parfaite il aurait fallu effectuer une segmentation totale du nuage de points source pour ne laisser que les murs.

Pour conclure, les résultats obtenus en utilisant le plug-in sont aussi bons que ceux obtenus manuellement, voir meilleurs grâce à une détermination mathématique des plans. La durée de modélisation a été réduite par deux, dans l'exemple du nuage représentant le vestiaire. La qualité absolue est quant à elle plus difficile à quantifier. Elle est fonction de la qualité du nuage de points.

V.2.3 Comparaison avec d'autres données

Afin de valider une dernière fois la qualité et la fiabilité du programme, nous l'avons testé avec d'autres données que celle utilisées lors de l'élaboration du programme.

Le premier test a été effectué avec le même nuage de points représentant un vestiaire mais avec une distance d'échantillonnage de 3 cm. Le nombre de points est désormais de 250 000, contre 100 000 précédemment. La durée de traitement est trois fois plus importante soit 15 minutes.

Le résultat obtenu est similaire, à l'exception d'un plus grand nombre de murs détectés. Le nombre de points étant plus grand, la condition pour valider un plan est plus facilement atteinte. Certaines cloisons ou ouvertures supplémentaires sont ainsi visibles. Cependant la qualité de la détection est la même, pour des paramètres fixes avec une distance

d'échantillonnage différente. La valeur utilisée, soit 5 cm, semble être le meilleur compromis entre précision et temps de traitement.

Un test a été effectué avec une distance d'échantillonnage de 10 cm. Le nombre de points s'élève à 23 000. Les résultats sont médiocres. La distance de validation du plan, valant 5 cm, est trop élevée. Ainsi la majorité des murs ne sont pas alignés avec leurs positions réelles. Certains ne représentent rien et sont créés à cause du bruit.

Pour le second test, nous avons opté pour l'utilisation d'un nuage de points assez volumineux (170 000 000 points représentant une surface de 1700 m²). Le nombre de point étant très élevé ; il est important de procéder à un rééchantillonnage et à une segmentation préalable du nuage. La taille finale des nuages utilisés est d'environ 200 000 points. Les quelques minutes nécessaires à ce travail vont permettre de grandement accélérer la vitesse d'exécution. Ce nuage présente une nouvelle fois beaucoup de bruit, à cause de la précision de la mesure mais également des nombreux mobiliers présents dans ce bâtiment, encore en exploitation. De plus, il possède de nombreuses surfaces vitrées.

Malgré tout, la détection est assez bonne. Comme l'illustre la **Figure 35**, les murs dessinés manuellement par l'utilisateur et ceux détectés par le script Python présentent de très faibles écarts. Un des segments présente un écart de position de 1 mm, le second est légèrement plus important : 4 mm.

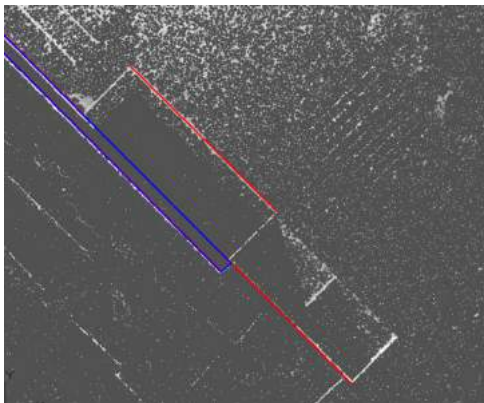


Figure 36 : Detections aberrantes correspondant aux mobiliers intérieurs

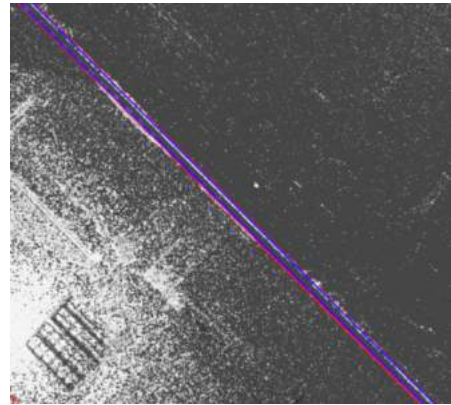


Figure 35 : Mur automatique en rouge (référence manuelle en bleu)

Quelques murs inexistant sont détectés et correspondent généralement aux armoires ou aux mobiliers imposants présents. Ils sont tout de même facilement identifiables en affichant le nuage de points, visible sur la **Figure 36**.

La détection a été faite en 8 minutes, pour une surface d'environ 150 m².

Le script élaboré s'avère donc compatible et performant avec la majorité des données sources.

V.3 Amélioration possibles

L'élaboration d'un tel programme demande du temps. Malheureusement la durée du TFE est assez courte et ne permet pas d'aller plus loin dans le développement du plug-in. Nous allons étudier quelques pistes d'améliorations possibles.

V.3.1 Ajustement automatique des murs

Une première amélioration serait d'effectuer l'ajustement des murs automatiquement. Les murs seraient alors prolongés et ajustés entre eux. Une recherche de points proches pourrait être effectuée. Lorsque deux points ont une distance inférieure à un certain seuil, les segments pourraient être prolongés. Ainsi, trois éléments seraient exportés pour deux murs : les deux coordonnées extrêmes et le point de recoupement.

On peut également imaginer une contrainte de perpendicularité pour « redresser » l'ensemble. On se rapprocherait alors de la fonction « *Align Wall* » proposée par Kubit à travers PointSense. Lors de l'ajustement de longueur, l'angle entre deux segments pourrait être calculé. Si cette valeur est proche de 100 grades l'angle pourrait être considéré comme droit.

Cependant, le relevé de l'existant permet de réaliser un état des lieux. Il ne faut pas que les ajustements déforment la réalité. De plus, la majorité des plans calculés sont les meilleurs mathématiquement, donc on peut se demander l'utilité de cette fonction.

V.3.2 Création des murs

L'idée de construire directement les lignes et non les murs est possible. En effet, à partir des coordonnées extrêmes d'un segment, Revit est capable de créer aussi bien une ligne qu'un mur ou tout autre objet nécessitant deux points pour sa création. A l'heure actuelle, elle ne donnerait pas de résultats corrects, puisque les murs se chevaucheraient.

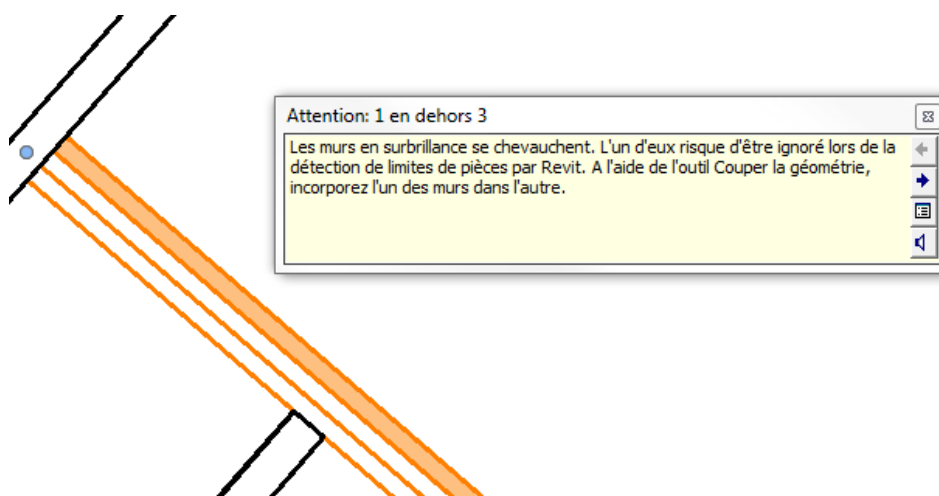


Figure 37 : Erreur affichée par REVIT en cas de chevauchement de mur

Mais une version améliorée du script permettrait de les modéliser automatiquement. Une recherche de plans proches et parallèles permettrait de trouver les deux faces d'un même mur. L'épaisseur du mur pourrait être calculée en fonction de la distance entre ces segments. Ainsi le mur serait modélisé à son emplacement et son épaisseur. Le type de mur devrait toujours être renseigné ou modifié par l'utilisateur à la suite du traitement.

Il serait également intéressant d'extraire des données sémantiques automatiquement à partir du nuage de points. Le type de matériaux pourrait être déterminé en fonction de l'intensité relevée par le scanner, ou bien encore à partir des photos.

V.3.3 Détection des ouvertures

Une dernière évolution de programmation envisageable serait la détection d'ouvertures. Cette étape permettrait d'aller plus loin dans l'automatisation. Plusieurs solutions seraient possibles :

- La position des murs étant connues, il serait possible de se ramener à un plan 2D vertical. Une coupe du nuage serait alors réalisée sur laquelle apparaîtraient les ouvertures. Cela permettrait de réutiliser les différents travaux réalisés en modélisation de façade. En effet, la détection et la modélisation automatique ont été largement étudiées dans ce cas, notamment par (Boulaassal, 2010).
- Une vue 3D pourrait être créée pour chaque mur détecté. Le placement et la détermination des ouvrants seraient alors grandement simplifiés pour l'utilisateur. Il s'agirait donc plus ici d'une simplification de l'étape de modélisation en automatisant la création de vues 3D dans REVIT.
- Une autre possibilité, complémentaire à la précédente peut être imaginée. Les ouvertures sont généralement décalées par rapport aux faces extérieures du mur.

Un plan peut donc être détecté comme l'illustre la **Figure 38**. L'ouvrant pourra être placé de manière précise dans le plan. Après avoir réalisé plusieurs tests, on observe que cette détection des lignes caractéristiques des ouvrants fonctionne également lorsque les deux faces du mur sont détectées.



Figure 38 : Détection des alignements d'ouvertures

V.3.4 Améliorations des procédures d'acquisitions

La qualité des résultats obtenus dépend du traitement effectué par le programme mais également des données d'entrées. Ainsi il est intéressant de réfléchir aux améliorations possibles concernant le relevé.

Les relevés effectués par CBT sont de bonnes qualités et présentent peu de défauts, la phase d'acquisition est maîtrisée. Cependant, la **Figure 39** illustre le problème majeur rencontré, il s'agit de zones d'occlusions. Elles sont créées par la présence de masques qui empêchent d'obtenir des informations sur une surface. Des informations sur le mur ne sont pas extraites.

L'importance de cette problématique a été soulevée par (HEO J. et al, 2015).

La zone d'occlusion visible sur la figure ci-contre aurait pu être évitée avec une position de scan supplémentaire. Cependant, cette action représente un temps supplémentaire lors de l'acquisition mais également lors du traitement, et du recalage des relevés. La quantité de données serait plus importante, donc la durée de fonctionnement du plug-in serait plus conséquente. La meilleure solution possible reste donc l'ajustement manuel dans la phase de modélisation.

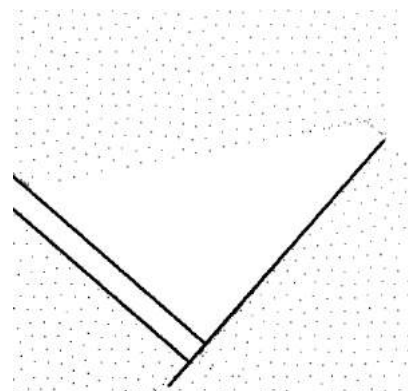


Figure 39 : Zone d'occlusion présente dans le nuage

Conclusion

Le BIM tend à se démocratiser dans les grands projets de construction grâce à la force du travail collaboratif qui le caractérise. La maquette numérique 3D intelligente et la base de données associée sont les piliers techniques du BIM.

Consciente des avantages de l'utilisation de ce processus, la France met les moyens en œuvre pour accélérer son adoption dans le monde du bâtiment, quel que soit la taille de l'ouvrage. Il existe aujourd'hui un fort engouement à développer l'usage du BIM, entraînant par ailleurs quelques dérives.

Les grands chantiers ne se limitent pas à des constructions neuves. La réhabilitation de bâtiments est en plein essor. Le scanner laser 3D est alors utilisé lors du relevé de l'existant. Son exhaustivité et sa simplicité de mise en œuvre sont des atouts indéniables. Les phases d'acquisition et de traitement sont généralement bien maîtrisées.

Le nuage de points issu du relevé scanner laser 3D constitue la base pour la modélisation du bâtiment et créer une maquette numérique en vue d'une application BIM. Seulement, de nos jours, la majorité des acteurs n'utilise pas le nuage de points à sa juste valeur. L'enjeu majeur est donc d'exploiter pleinement les informations présentes dans le nuage de points de manière automatique.

L'étude des différents logiciels de traitement et de modélisation indique qu'ils ne sont pas encore adaptés et ne proposent pas d'outils spécifiques pour travailler directement sur les points du nuage afin de créer une maquette numérique. Des outils complémentaires d'automatisation sont disponibles. Ils présentent tout de même quelques imperfections. Cependant, les solutions proposées par les éditeurs évoluent très rapidement. De nouvelles innovations sont proposées chaque année. On peut donc espérer une réelle évolution dans les années à venir.

Afin de répondre aux besoins du service topographie de Campenon Bernard Regions, une solution d'automatisation permettant la détection et la création de murs a été réalisée à travers le développement de plug-in dans le logiciel Revit. L'aspect sémantique et visuel est très développé et il existe de nombreux plug-in dans ces domaines. En effet, la plupart des maquettes sont créées à partir de fond de plan. Concernant l'exploitation des nuages de points, les problématiques sont multiples et de nombreuses solutions sont à apporter.

La détection et la création automatique des niveaux et des murs à partir d'un nuage de points sont des étapes primordiales lors de la réalisation d'une maquette numérique 3D en cas de réhabilitation. La solution développée dans le présent mémoire utilise l'algorithme RANSAC couplé à une étude de densité de points pour détecter les plans contenus dans le nuage. L'algorithme original a subi quelques modifications afin d'obtenir des résultats fiables. Ensuite, les coordonnées des murs sont exportées et dessinées dans Revit.

L'étude des résultats démontre une modélisation de bonne qualité avec l'utilisation du plug-in. Les écarts avec la maquette créée manuellement sont relativement faibles. La comparaison avec le nuage de points sources présente plus de difficultés. Cependant, la détection est proche de la position réelle. L'incertitude réside dans la qualité du nuage et son niveau de bruit.

Le gain de temps est également intéressant. Il peut s'étendre à une réduction du temps de traitement à 80%. De plus, le temps d'exécution du plug-in permet à l'utilisateur d'effectuer d'autres tâches, et lui permet d'optimiser son temps de travail.

Le plug-in développé permet de déterminer la position des murs mathématiquement. Des améliorations sont bien entendu possibles. Il serait intéressant de continuer son développement afin de lui attribuer de nouvelles fonctionnalités. Cet outil pourrait être une alternative en attendant le développement de logiciel adéquate. Les éditeurs prennent en compte les attentes grandissantes des utilisateurs et s'efforcent de fournir des solutions concernant l'utilisation du nuage de points et les solutions d'automatisation.

Seulement, il faut garder à l'esprit qu'une automatisation complète pour la création d'une maquette numérique est aujourd'hui impossible. Il est peu probable qu'elle le soit dans un futur proche. Beaucoup de paramètres sont nécessaires et certains doivent être renseignés par l'utilisateur. Les attentes de ce TFE étaient ambitieuses. Cependant, l'outil développé contribue grandement à l'automatisation de la création d'une maquette numérique 3D à partir d'un relevé au scanner laser 3D.

Le BIM va devenir un standard dans le secteur du bâtiment. Il est donc important de se préparer dès maintenant à son utilisation et à la création de sa maquette numérique associée. Nous pourrions nous mettre à rêver de la création automatique de la modélisation avec les différentes propriétés des éléments. Ces derniers pourraient être vérifiés et mis à jour en direct grâce à la réalité augmentée.

D'un point de vue personnel, cette expérience fut très enrichissante. Elle m'a permis d'aborder un domaine que je connaissais très peu, celui du bâtiment. J'ai ainsi pu apprendre de nouvelles méthodes de travail et découvrir de nouvelles perspectives dans le métier de géomètre.

Le processus du BIM ainsi que l'exploitation de données 3D sont des sujets d'actualité. Je pense sincèrement qu'ils sont l'avenir du métier. Ce fut très intéressant de les traiter. De plus, l'aspect recherche bibliographique et test des différents logiciels disponibles m'ont permis d'acquérir les connaissances essentielles pour traiter et modéliser des données 3D.

J'ai également pris conscience de l'importance des études de recherche et de développement d'outils pour permettre l'automatisation de tâches. La communauté de développeurs grandit sans cesse et il est primordial de la suivre pour avoir les meilleurs outils et méthodes. Ce travail m'a permis de développer encore plus mon goût pour la recherche et le développement.

Bibliographie

Documents et articles

Ait El Kadi K., Tahiri D., Simonetto E., Sebari I. *Modélisation 3D des façades de bâtiments des anciennes Médina*. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, Vol. 1, Numéro 3 (2013), p. 5-11 (consulté le 10/05/2016)

DELCAMBRE Bertrand, Mission Numérique du Batiment, 2014, disponible sur : <http://www.logement.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_mission_numerique_batiment.pdf>. (consulté le 20/05/2016)

POUX Florent. *Segmentation semi-automatique pour le traitement de données 3D denses : application au patrimoine architectural*. XYZ, N°141 - 4ème trimestre 2014, p. 55-61 (consulté le 10/05/2016)

From point cloud to BIM. AECMAGAZINE, [En ligne], publié le 12 mars 2015. Disponible sur : <<http://aecmag.com/59-features/829-from-point-cloud-to-bim>>. (consulté le 11/02/2016)

Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. Automation in Construction, [En ligne], novembre 2010. (consulté le 12/02/2016)

Travaux universitaires

AÏT-MANSOUR Mounir, Extraction d'éléments géométriques dans un nuage de points LiDAR terrestre, Mémoire TFE, [En ligne]. Soutenu le 17 septembre 2014, ESGT, 85p (consulté le 13/05/2016)

BOULAASSAL Hakim, Segmentation et modélisation géométriques de facades de bâtiments à partir de relevés laser terrestres, Mémoire de thèse. Soutenu le 03 février 2010, INSA, 214p (consulté le 18/05/2016), [En ligne] ; Disponible sur http://scd-theses.u-strasbg.fr/1785/01/BOULAASSAL_Hakim_2010.pdf

DEHODENT Kévin, Intégration du processus BIM dans un cabinet de Géomètres Experts, Mémoire TFE, [En ligne]. Soutenu le 26 juin 2015, ESGT, 75p (consulté le 09/05/2016)

PERDREAUX Robin, Etude de processus de création de modèles BIM à partir d'acquisition de nuages de points, Mémoire PFE, [En ligne]. Présenté le 25 septembre 2015, INSA, 112p. (consulté le 04/04/2016)

POUX Florent, Vers de nouvelles perspectives lasergrammétriques : Optimisation et automatisation de la chaîne de production de modèles 3D, Mémoire TFE, [En ligne]. Soutenu le 10 juillet 2013, ESGT, 87p (consulté le 13/05/2016)

REBOUL Rémi, Segmentation, classification et modélisation à partir de données issues de capteurs dynamiques, Mémoire TFE, [En ligne]. Soutenu le 09 juillet 2014, ESGT, 71p, (consulté le 11/05/2016)

ROUMAIN de la TOUCHE Maxime, L'intégration du scanner 3D dans le processus BIM (Réhabilitation), Mémoire TFE, [En ligne]. Soutenu le 08 juillet 2014, ESGT, 55p. (consulté le 22/04/2016)

STAMOS Ioannis, Geometry and texture recovery of scenes of large scale: integration of range and intensity sensing, Mémoire de thèse. Columbia University

TARSHA KURDI Fayez, Extraction et reconstruction de bâtiments en 3D à partir de relevés lidar aéroportés, Mémoire de thèse. Soutenu le 06 novembre 2008, INSA, 291p (consulté le 17/05/2016), [En ligne] ; Disponible sur http://scd-theses.u-strasbg.fr/1528/01/TARSHA-KURDI_Fayez_2008.pdf

Sites web

DynamoBIM, Open Source Graphical Programming for Design, [En ligne]. Disponible sur : <<http://dynamobim.com>>. (consulté le 15/05/2016)

The Proving Ground, Nathan's Revit API Notebook, [En ligne]. Disponible sur : <<http://wiki.theprovingground.org/revit-api>>. (consulté le 14/05/2016)

BIM ThinkSpace, Episode 16: Understanding BIM Wash.[En ligne]. Disponible sur : <<http://www.bimthinkspace.com/2011/06/episode-16-understanding-bim-wash.html> >. (Consulté le 13/05/2016)

AUTODESK, My First Plug-in Training, [En ligne]. Disponible sur : <<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=16777469>>. (consulté le 19/05/2016)

JEREMY TAMMIK, My First Plug-in Training, Blogging about the Revit API [En ligne]. Disponible sur : <<http://thebuildingcoder.typepad.com/>>. (consulté le 19/05/2016)

Scipy.org, NumPy v1.10 Manual, [En ligne]. Disponible sur : <<http://docs.scipy.org/doc/numpy-1.10.0/index.html>>. (consulté le 19/05/2016)

PRODUCTSPEC, Beginners Guide to Python in Autodesk Revit, [En ligne]. Disponible sur : <<https://blog.productspect.net/2015/02/03/beginners-guide-to-python-in-autodesk-revit/>>. (consulté le 13/05/2016)

Modélisation tridimensionnelle à partir de nuages de points, Thèse réalisée par Hélène MACHER et financée par l'Ordre des géomètres-experts, [En ligne]. Disponible sur : <<http://gespro.geometre-expert.fr/docs/These/accueil.html>>. (consulté le 19/04/2016)

hexabim, [En ligne]. Disponible sur : <<http://www.hexabim.com/>>. (consulté le 20/05/2016)

Village BIM, Le blog consacré au BIM et aux technologies d'Autodesk [En ligne]. Disponible sur : <<http://villagebim.typepad.com/villagebim/>>. (consulté le 20/05/2016)

MEDI@CONSTRUCT, Le chapitre francophone de buildingSMART [En ligne]. Disponible sur : <<http://www.mediaconstruct.fr/>>. (consulté le 20/05/2016)

Conférence

Conférence tenue le 11 février à Lyon en collaboration entre AriCad (Éditeur de logiciel CAO, partenaire d'Autodesk) et Faro

Congrès réalisé en juin 2015 à Tours par l'UNTEC dont l'intitulé était « Le BIM ! Oui ! Mais ensemble ! »

Communication dans un congrès

HEO J., JUNG J., YOON S.. Practical implementation of semi-automated as-built BIM creation for complex indoor environments. In : The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-4/W5, 2015, Indoor-Outdoor Seamless Modelling, Mapping and Navigation, Tokyo, Japan, 21–22 May 2015.

HICHRI N., STEFANI C., DE LUCA L., VERON P. Review of the “ as-built BIM ” approaches. In: 3D-ARCH International Conference, Italie, 2013 - Proceedings of the 3D-ARCH International Conference – 2013

Macher H., Landes T., Grussenmeyer P. Point Clouds Segmentation As Base For As-Built Bim Creation. In : ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5/W3, 2015, 25th International CIPA Symposium 2015, 31 August – 04 September 2015, Taipei, Taiwan.

Liste des figures

Figure 1 : Cycle de vie d'un bâtiment en BIM (Source : buildipedia.com)	10
Figure 2 : Concept de Modélisation Inverse © V. du Peloux	16
Figure 3 : Extraction des plans avec le module Building Extractor (Source : image capturée sur une vidéo de démonstration disponible sur le site de 3D Reshaper)	17
Figure 4 : Visualisation d'un nuage contenant 7,7 millions de points sous Realworks	18
Figure 5 : Espace de travail sous le logiciel Scene (illustration issue d'une vidéo créée par FARO GB)	20
Figure 6 : Orthoimage généré par pointSense	25
Figure 7 : Fonctionnement de Virtusurv (Source : image capturée sur une vidéo disponible sur le site de Kubit)	26
Figure 8 : Résultats obtenus avec Scan To BIM (Imaginit)	27
Figure 9 : Lignes caractéristiques du nuage de points (Source : image issue d'une vidéo de démonstration disponible sur le site de l'éditeur du logiciel)	28
Figure 10 : Gestion des macros en langage différent sous Revit	29
Figure 11 : Outils nécessaires pour la création de plug-in sous revit en Python	30
Figure 12 : Distinction macro/plug-in	31
Figure 13 : Calcul d'un plan et d'une normale en chaque point (Stamos, 2001)	34
Figure 14 : Histogramme de la densité de point (abscisse) en fonction de la hauteur (ordonnée) ...	34
Figure 15 : Détection de Hough appliquée à une façade (Source : Image ESGT)	35
Figure 16 : Résultat de l'algorithme Ransac, vue de dessus (Source : Revue XYZ n°141, modifié)	36
Figure 17 : Processus de segmentations successives envisagées	37
Figure 18 : Nuage colorisé représentant les différentes régions segmentées	38
Figure 19 : Création de l'échantillon pour Ransac	39
Figure 20 : Échantillonnage réalisé pour Ransac afin de détecter les plans verticaux	40
Figure 21 : Détection successive de plans dans un nuage	41
Figure 22 : Visualisation sous AutoCad des alignements de murs trouvés par le programme	42
Figure 23 : Histogramme réalisé le long d'une droite dans le repère local	43
Figure 24 : Mur dessiné à partir des extrémités calculées dans le repère local	43
Figure 25 : Icones de l'éditeur Python et du programme réalisé	43
Figure 26 : Résultats obtenus en utilisant le plug-in	44
Figure 27 : Vue 3D des murs modélisés sous Revit à partir des résultats du programme	44
Figure 28 : Comparaison des résultats (Segments verts : distance = 0.02m, segments bleus : distance = 0.05m)	46
Figure 29 : Comparaison des résultats (Segments verts : distance = 0.02m, segments magenta : distance = 0.03m)	46
Figure 30 : Variation de la durée de traitement en fonction des itérations	47
Figure 31 : Mur de 40 cm non détecté	47
Figure 32 : Répartition des écarts selon les tests	49
Figure 33 : Représentation de la surface d'un mur sur le nuage de points	50
Figure 34 : Histogramme issus de la comparaison des points	50
Figure 35 : Mur automatique en rouge (référence manuelle en bleu)	51
Figure 36 : Détections aberrantes correspondant aux mobiliers intérieurs	51
Figure 37 : Erreur affichée par REVIT en cas de chevauchement de mur	52
Figure 38 : Détection des alignements d'ouvertures	53
Figure 39 : Zone d'occlusion présente dans le nuage	53

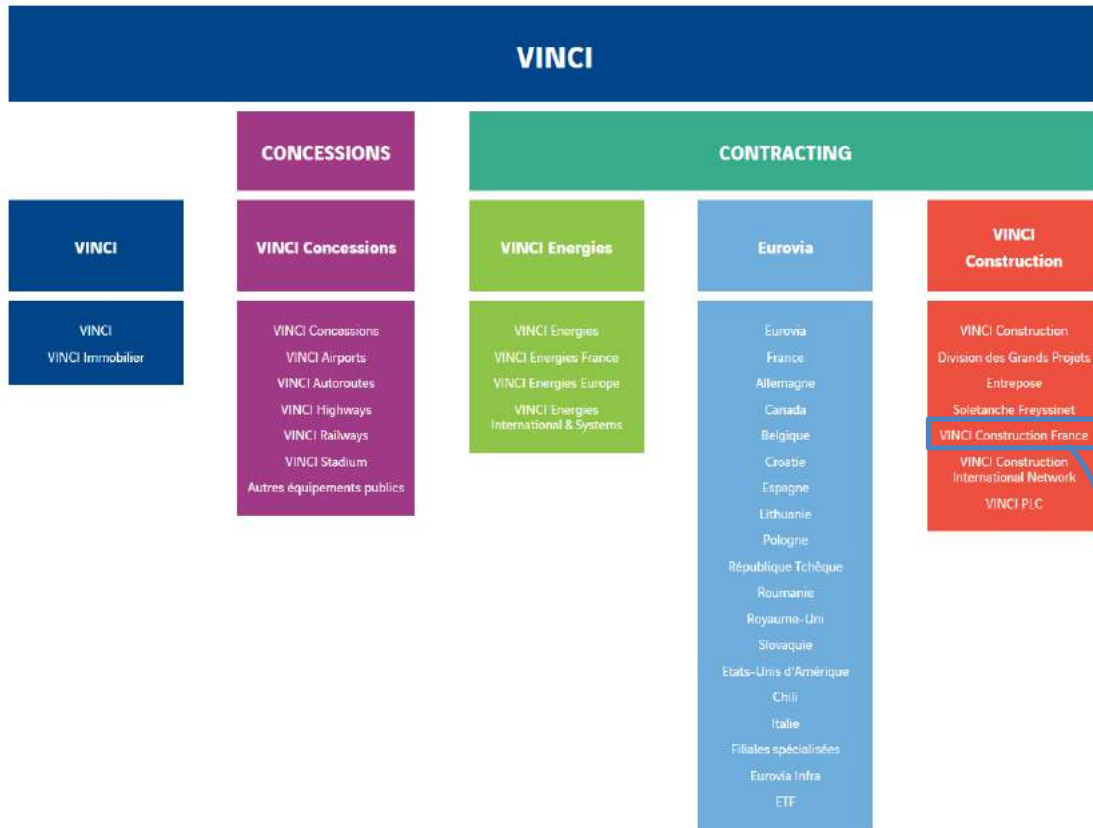
Liste des tableaux

Tableau 1 : Les quatre niveaux de BIM existants.....	12
Tableau 2 : Liste des pays utilisant le BIM pour les marchés publics.....	13
Tableau 3 : Avantages et inconvénients des logiciels de traitement testés.....	21
Tableau 4 : Comparaison des solutions disponibles pour automatiser la création d'une maquette numérique.....	32
Tableau 5 : Récapitulatif des différents tests effectués selon la durée de traitement.....	45
Tableau 6: Variation de la durée de traitement en fonction de la distance de validation.....	45
Tableau 7 : Durée de traitement du programme en fonction du nombre d'itérations.....	46
Tableau 8: Durée de traitement du programme en fonction de la taille minimale des murs définie	47
Tableau 9 : Répartition des écarts calculés sur les différents tests.....	48

Table des annexes

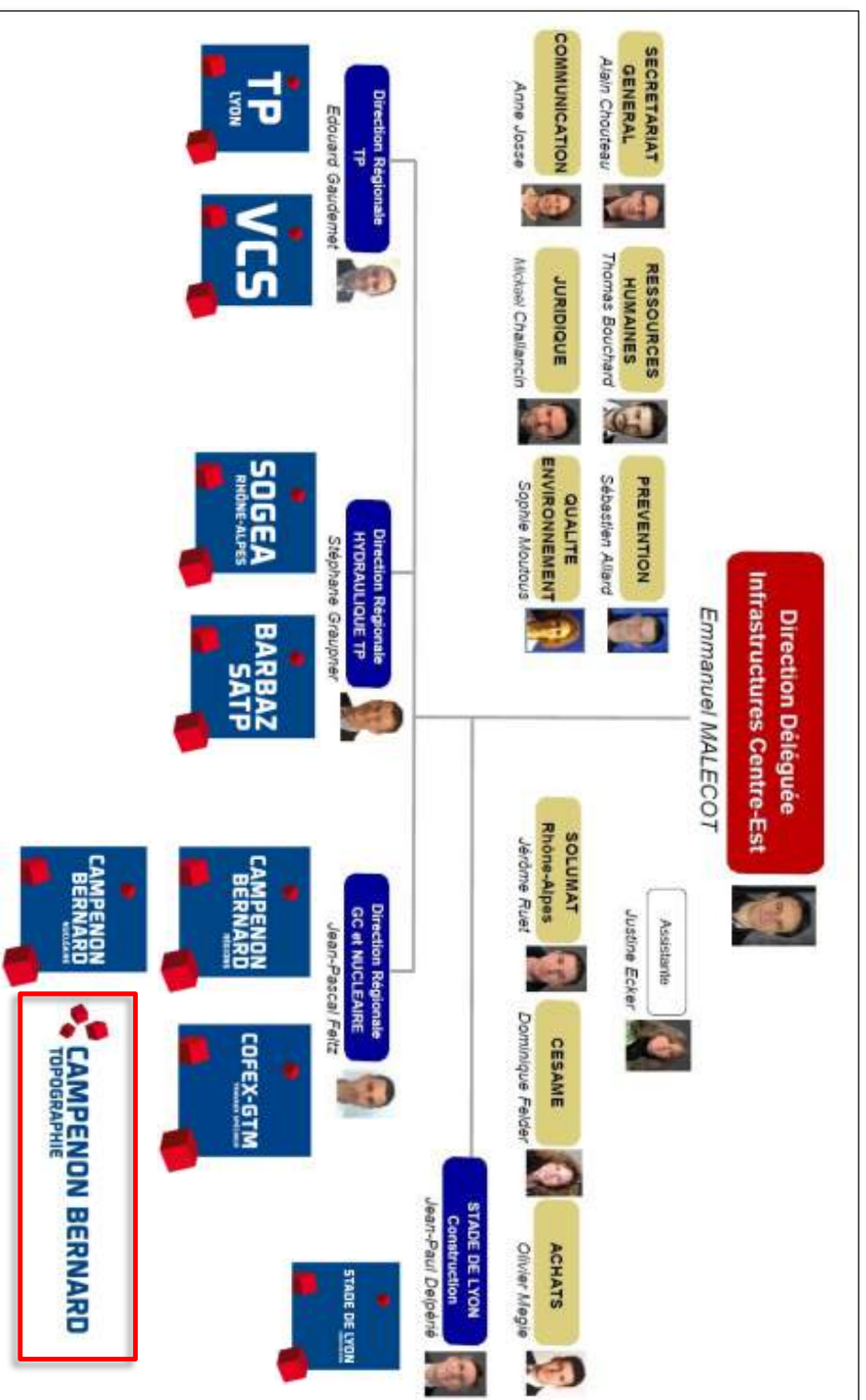
Annexe 1 Organigramme VINCI.....	61
Annexe 2 Organigramme Direction Déléguée Infrastructures Centre-Est	62
Annexe 3 Organigramme RANSAC classique.....	63
Annexe 4 Organigramme Ransac modifié pour la détection de mur vertical.....	64
Annexe 5 Tableau de comparaison de points	65
Annexe 6 Guide de l'utilisateur du Plug-in	66

Annexe 1 Organigramme VINCI

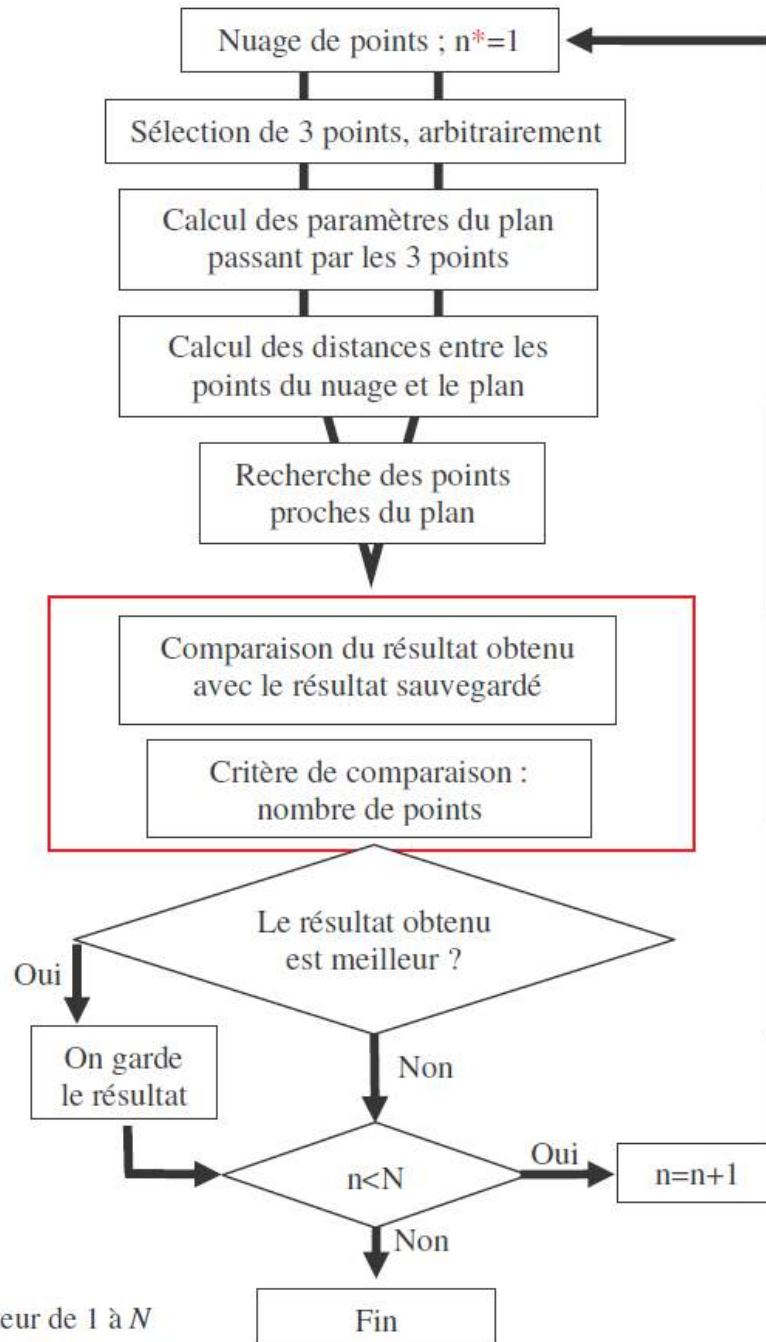


Annexe 2

Organigramme Direction Déléguée Infrastructures Centre-Est



Annexe 3 Organigramme RANSAC classique

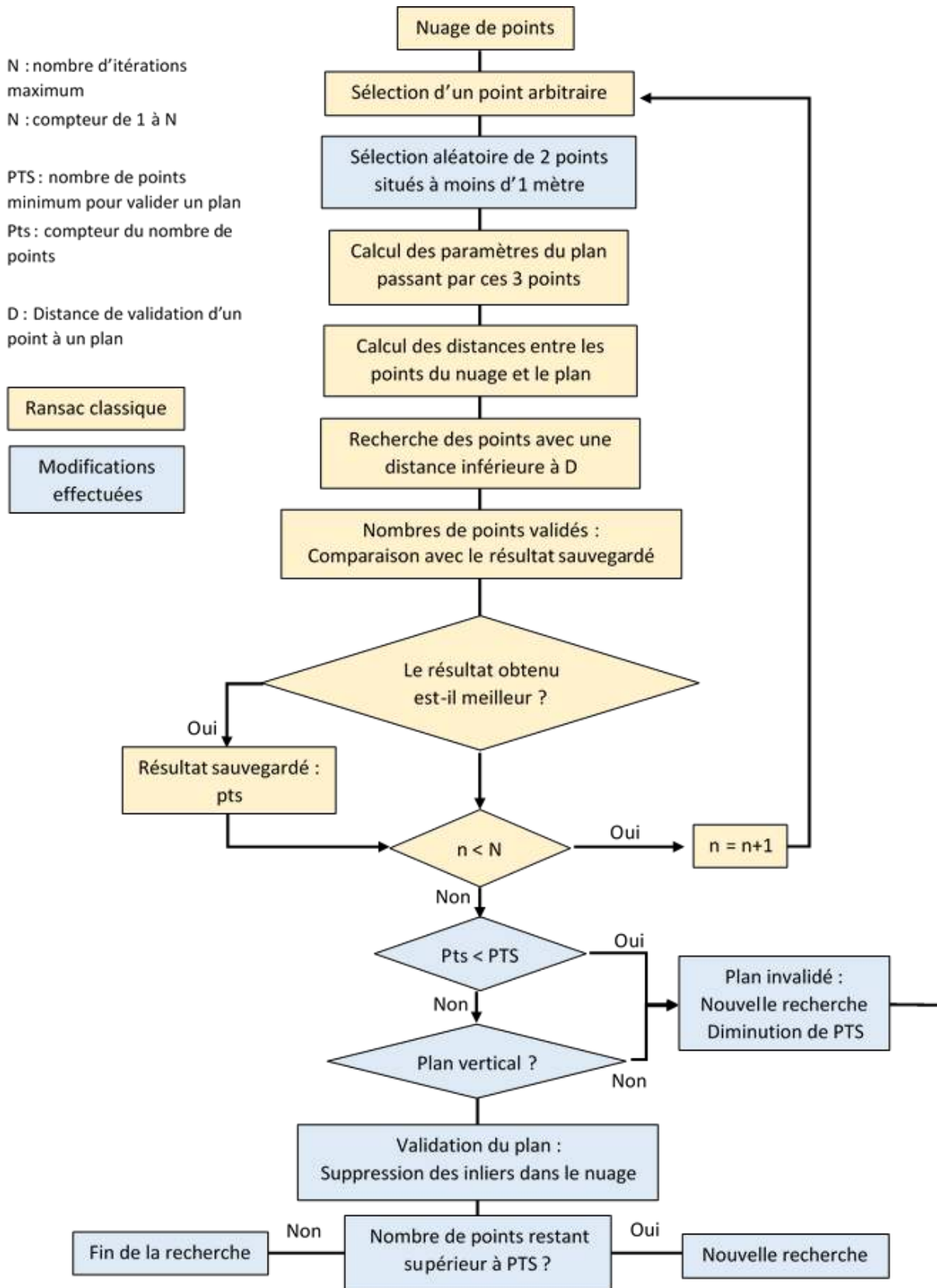


* n est un compteur de 1 à N

Source : Thèse de Fayez TARSHA KURDI, Extraction et reconstruction de bâtiments en 3D à partir de relevés lidar aéroportés, 2008

Annexe 4

Organigramme Ransac modifié pour la détection de mur vertical



Annexe 5

Tableau de comparaison de points

Numéro des tests	Distance de validation (m)	Itérations maximales	Taille minimale des murs (m)	Durée (s)	dx (mm)		dy (mm)		X théorique	Y théorique	X relevé	Y relevé	Distance 2D entre les 2 points	Ecart moyens (m)	Ecart minimal (m)	Ecart maximal (m)
					P.1	P.2	P.3	P.4								
4	0,025	25	0,2	257	P.1	9	4	2,962	8,497	2,971	8,501	0,010	0,007	0,001	0,012	
					P.2	0	1	8,56	6,593	8,56	6,594	0,001				
					P.3	10	7	1,289	-1,734	1,299	-1,727	0,012				
					P.4	0	1	-1,632	0,822	-1,632	0,823	0,001				
					P.5	-10	7	0,263	3,151	0,253	3,158	0,012				
5	0,05	35	0,2	262	P.1	13	1	2,962	8,497	2,975	8,498	0,013	0,009	0,001	0,017	
					P.2	0	1	8,56	6,593	8,56	6,594	0,001				
					P.3	3	2	1,289	-1,734	1,292	-1,732	0,004				
					P.4	3	-10	-1,632	0,822	-1,629	0,812	0,010				
					P.5	-9	15	0,263	3,151	0,254	3,166	0,017				
6	0,025	35	0,2	326	P.1	5	7	2,962	8,497	2,967	8,504	0,009	0,010	0,006	0,018	
					P.2	-13	13	8,56	6,593	8,547	6,606	0,018				
					P.3	6	3	1,289	-1,734	1,295	-1,731	0,007				
					P.4	-5	-4	-1,632	0,822	-1,637	0,818	0,006				
					P.5	-8	4	0,263	3,151	0,255	3,155	0,009				
7	0,02	35	0,2	330	P.1	10	3	2,962	8,497	2,972	8,5	0,010	0,010	0,001	0,022	
					P.2	0	1	8,56	6,593	8,56	6,594	0,001				
					P.3	5	1	1,289	-1,734	1,294	-1,733	0,005				
					P.4	1	-10	-1,632	0,822	-1,631	0,812	0,010				
					P.5	-16	15	0,263	3,151	0,247	3,166	0,022				
8	0,025	35	0,15	339	P.1	13	1	2,962	8,497	2,975	8,498	0,013	0,009	0,001	0,015	
					P.2	0	1	8,56	6,593	8,56	6,594	0,001				
					P.3	2	6	1,289	-1,734	1,291	-1,728	0,006				
					P.4	-9	1	-1,632	0,822	-1,641	0,823	0,009				
					P.5	-12	9	0,263	3,151	0,251	3,16	0,015				
9	0,025	35	0,1	343	P.1	6	8	2,962	8,497	2,968	8,505	0,010	0,007	0,004	0,010	
					P.2	-3	2	8,56	6,593	8,557	6,595	0,004				
					P.3	6	3	1,289	-1,734	1,295	-1,731	0,007				
					P.4	-4	-5	-1,632	0,822	-1,636	0,817	0,006				
					P.5	-7	7	0,263	3,151	0,256	3,158	0,010				
10	0,03	35	0,2	344	P.1	10	3	2,962	8,497	2,972	8,5	0,010	0,008	0,002	0,013	
					P.2	-1	2	8,56	6,593	8,559	6,595	0,002				
					P.3	10	8	1,289	-1,734	1,299	-1,726	0,013				
					P.4	-2	5	-1,632	0,822	-1,634	0,827	0,005				
					P.5	-7	6	0,263	3,151	0,256	3,157	0,009				
11	0,025	45	0,2	365	P.1	6	7	2,962	8,497	2,968	8,504	0,009	0,008	0,001	0,016	
					P.2	0	1	8,56	6,593	8,56	6,594	0,001				
					P.3	7	11	1,289	-1,734	1,296	-1,723	0,013				
					P.4	1	2	-1,632	0,822	-1,631	0,824	0,002				
					P.5	-9	13	0,263	3,151	0,254	3,164	0,016				
12	0,01	35	0,2	366	P.1	8	5	2,962	8,497	2,97	8,502	0,009	0,008	0,003	0,014	
					P.2	2	2	8,56	6,593	8,562	6,595	0,003				
					P.3	6	4	1,289	-1,734	1,295	-1,73	0,007				
					P.4	-7	-2	-1,632	0,822	-1,639	0,82	0,007				
					P.5	-11	8	0,263	3,151	0,252	3,159	0,014				
													0,008	0,002	0,015	

Annexe 6
Guide de l'utilisateur du Plug-in



Guide de l'utilisateur

Plug-in : Détection des murs

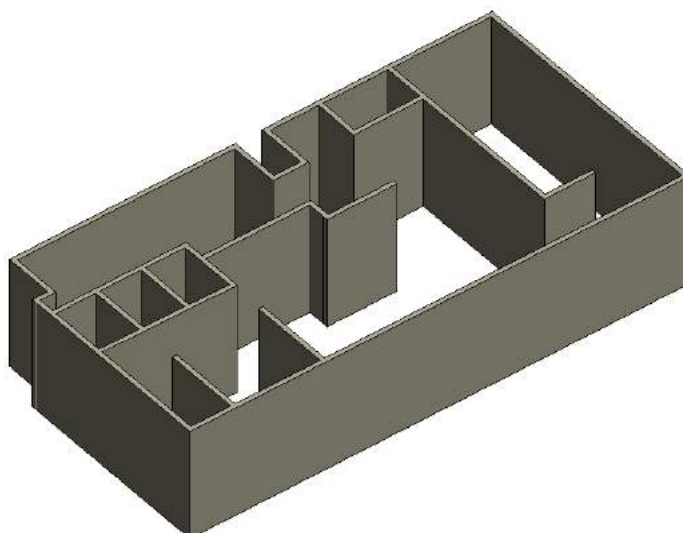


Table des matières

I	AVANT-PROPOS.....	68
II	LANCEMENT DU PLUG-IN.....	68
III	NUAGE DE POINTS.....	71
III.1	INSERTION.....	71
III.2	VISIBILITE DU NUAGE.....	72
IV	CONVERSION DES RESULTATS.....	73
V	VARIANTE : FICHER EXECUTABLE.....	73

I Avant-propos

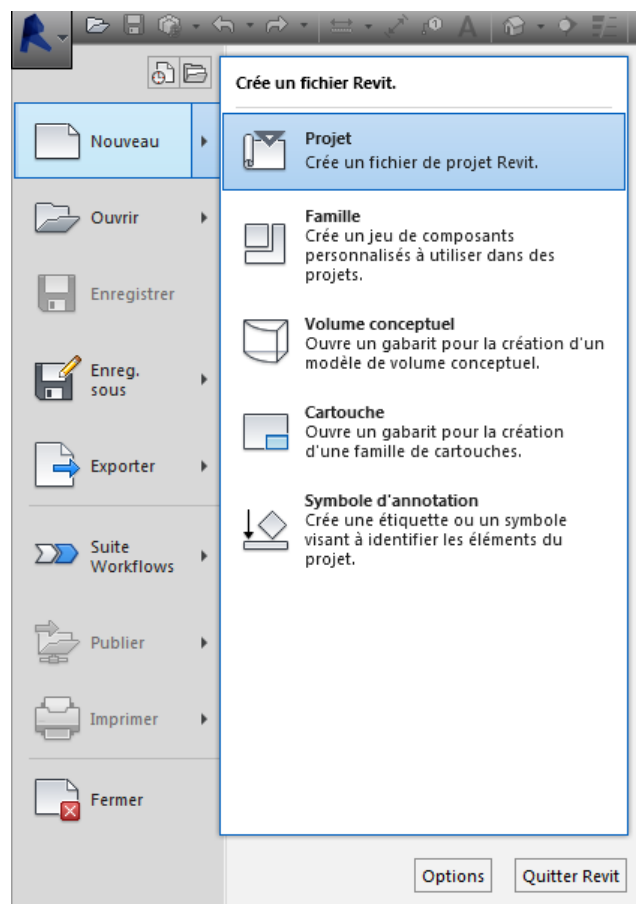
Une étape préalable à l'exécution du plug-in est nécessaire, il s'agit du rééchantillonnage du nuage. Elle s'effectue dans le logiciel de Trimble : RealWorks. Elle permet de diminuer la taille des données et assure un fonctionnement optimal du script de détection.

La distance de rééchantillonnage est de 50mm. L'export du nuage doit ensuite s'effectuer au format .las.

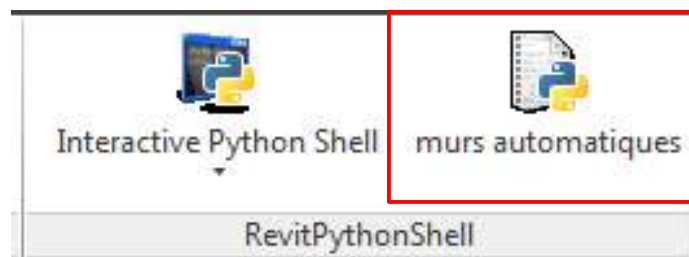
II Lancement du plug-in

Il faut ensuite ouvrir le logiciel Revit d'Autodesk et créer un nouveau projet :

Cliquer sur le « R » de Revit, sélectionner « Nouveau » puis « Projet » en sélectionnant le gabarit adéquat à la chartre graphique de Campenon Bernard Topographie.

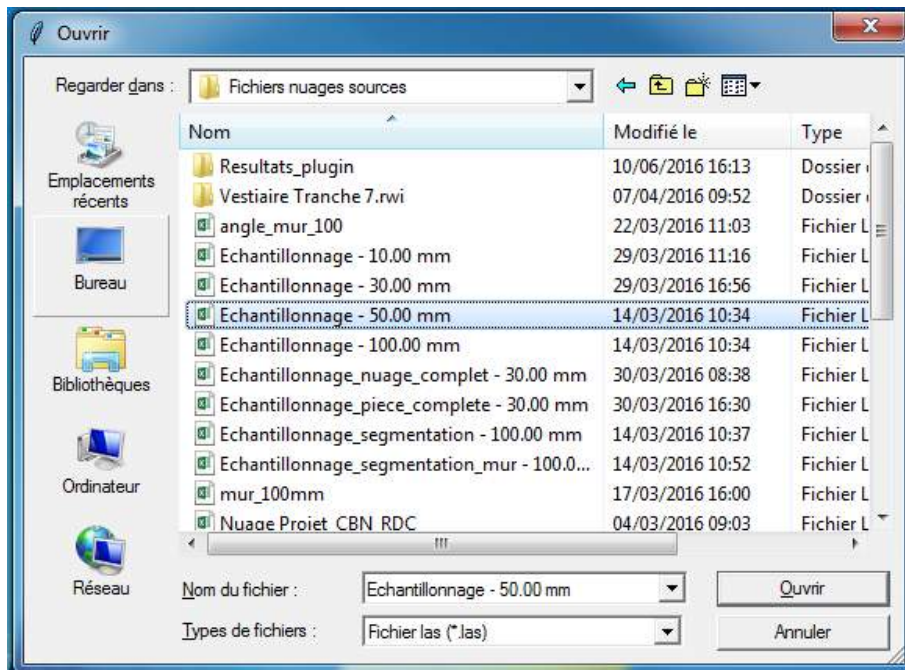


Le plug-in se trouve dans l'onglet « Complément du ruban Revit ».



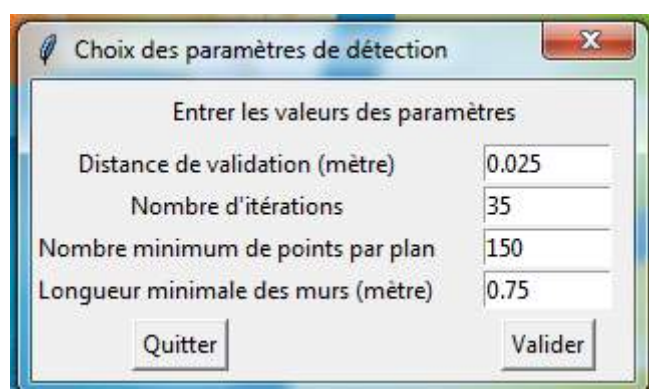
Il suffit de cliquer sur le bouton « murs automatiques » Il faut cependant veiller à se placer dans une vue en plan avant de lancer le plug-in sous peine de l'arrêt inopiné de Revit. Le plug-in fonctionne même si le nuage n'est inséré.

Après avoir cliqué sur le bouton correspondant à la création des murs automatiques, une nouvelle fenêtre apparaît pour sélectionner le fichier rééchantillonné au format .las.



L'ensemble des fichiers résultats, à savoir les valeurs des niveaux et les coordonnées extrêmes des murs détectés seront écrits sous la forme de fichier texte dans un dossier nommé « Résultats plug-in » ; il est créé automatiquement dans le répertoire contenant le fichier sélectionné.

Ensuite, une nouvelle fenêtre apparaît afin de renseigner les paramètres de détection à appliquer. Des valeurs par défaut sont déjà renseignées.



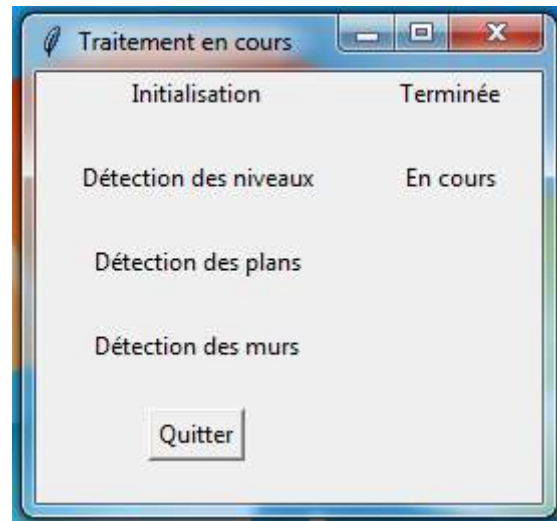
La **distance de validation** constitue la distance maximale entre un plan et un point afin que ce dernier soit validé. Plus elle sera élevée, plus un grand nombre de points sera validé. La qualité du plan détecté sera donc détériorée.

La **longueur minimale** des murs représente la taille minimale des murs qui seront détectés. Une valeur trop faible entrainera un nombre important de détection, parfois non significative.

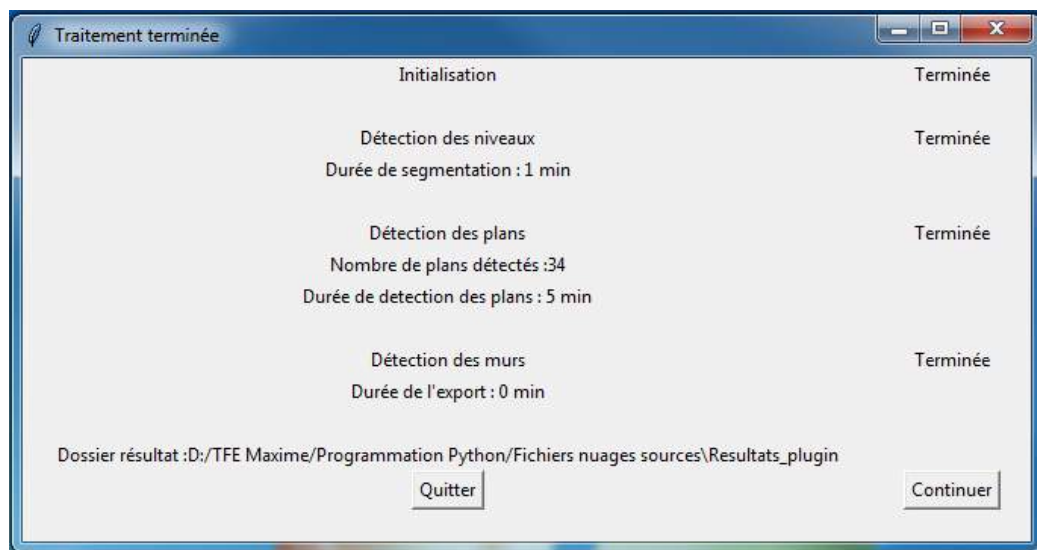
Le nombre minimum de points par plan peut être abaissé à 100 lorsque le nuage est constitué de nombreux petits murs. Le nombre d'itérations doit être compris entre 25 et 40.

Lorsque les paramètres sont validés, le traitement commence. L'utilisateur est informé de l'avancement par une nouvelle fenêtre. Cette dernière se met à jour au cours du processus et renseigne le nombre de plans détectés ainsi que la durée de traitement des différentes étapes.

L'initialisation représente la sélection du fichier, le choix des paramètres et la conversion du fichier .las en .txt.



Lorsque le traitement est terminé, la fenêtre ci-dessous est visible. Il suffit de cliquer sur continuer pour valider le traitement et créer les éléments dans Revit.

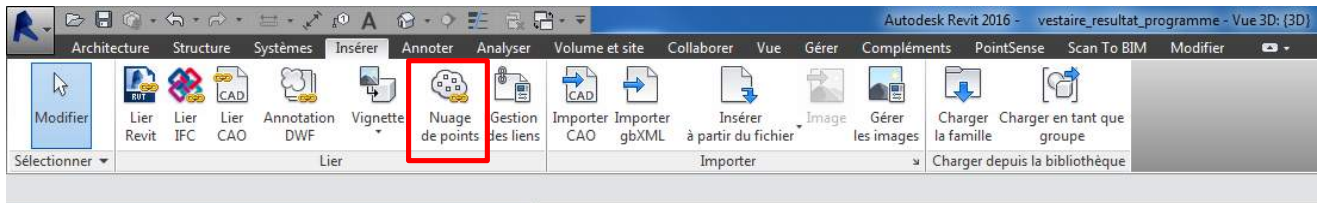


III Nuage de points

III.1 Insertion

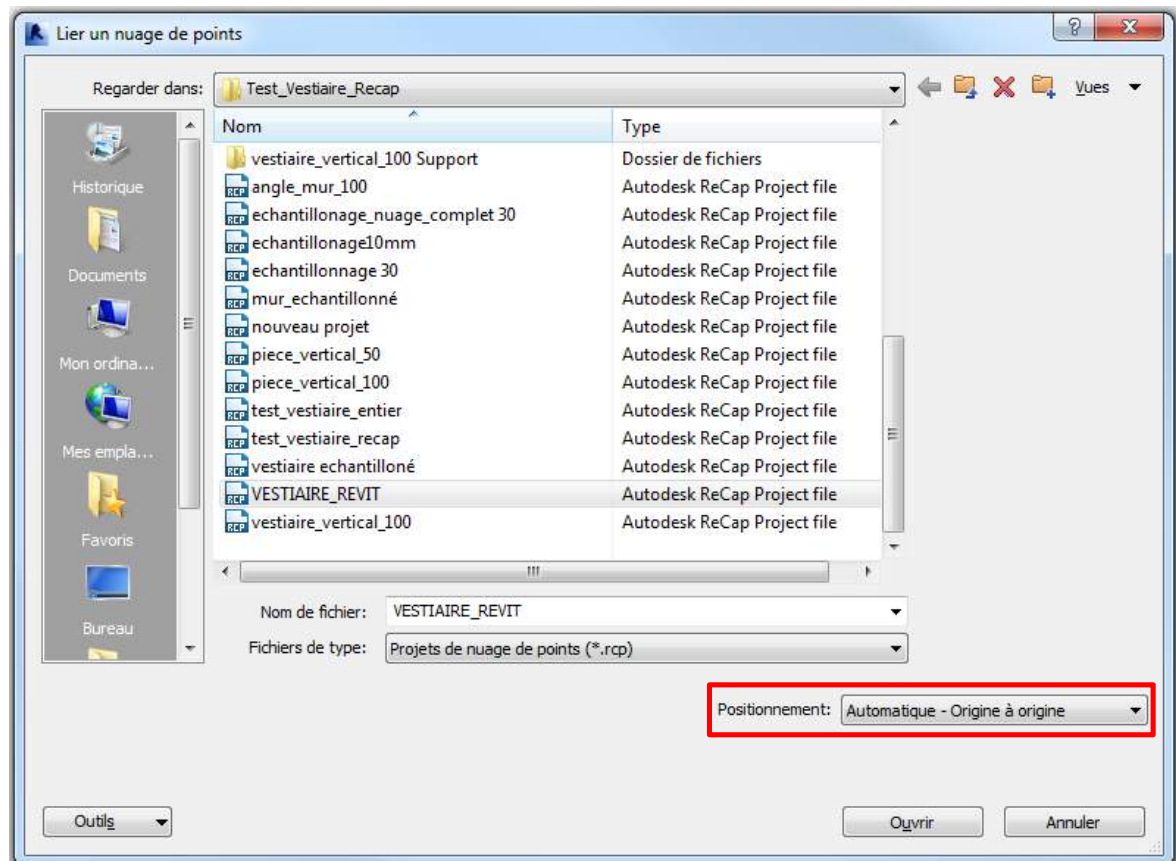
L'insertion du nuage de points dans Revit permet de vérifier les résultats obtenus et de les ajuster si besoin.

La fonction est disponible dans l'onglet « Insérer » du ruban Revit.



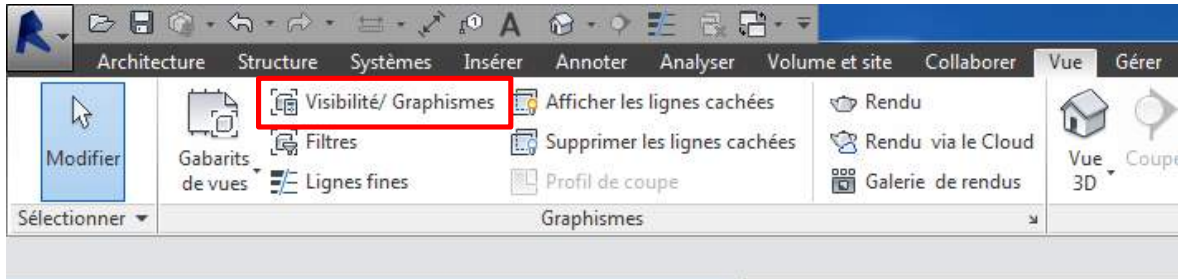
Une fenêtre s'ouvre afin de choisir notre fichier rcp, il s'agit du nuage de points dans un format compatible avec les logiciels d'Autodesk.

Il est important de choisir un positionnement « Automatique – origine à origine » afin de travailler dans le système du nuage rattaché.

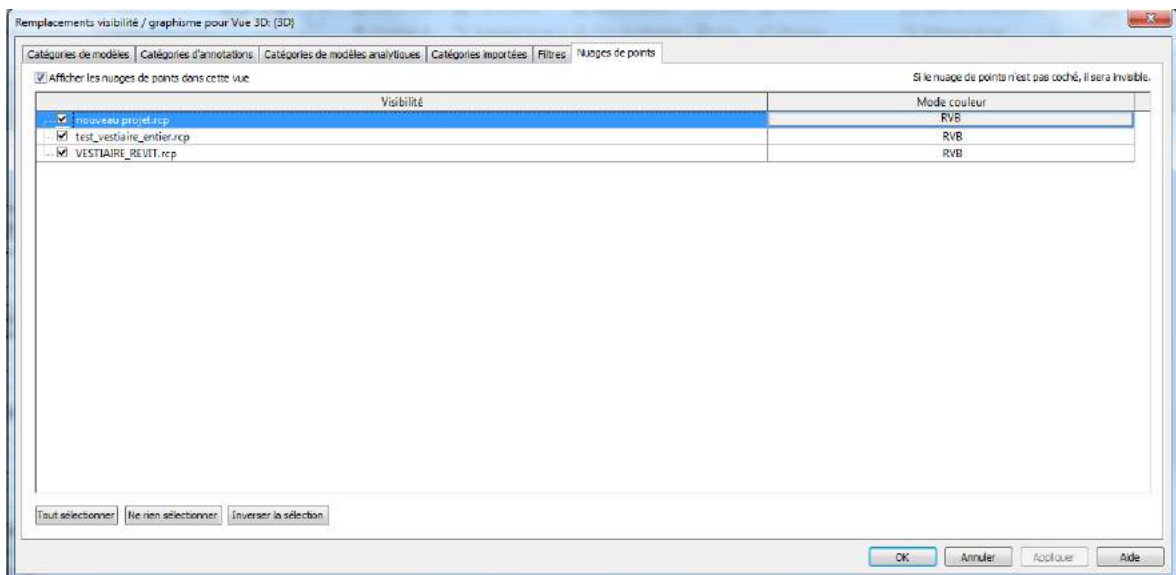


III.2 Visibilité du nuage

L'affichage du nuage peut être activé ou non. Pour cela, il faut se rendre dans l'onglet « Vue » du ruban Revit, puis cliquer sur « Visibilité/graphisme ». Le menu est aussi accessible par le raccourcis clavier « vv ».



Dans la fenêtre, se rendre dans l'onglet « Nuages de points » :

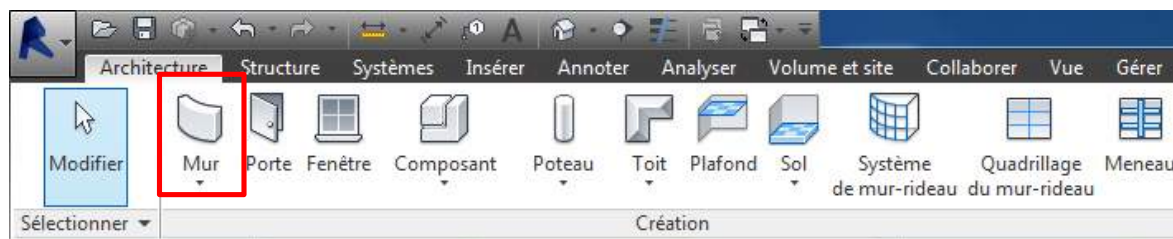


Une première option à cocher ou non permet de choisir si les éléments visibles doivent être affichés ou non dans la vue active.

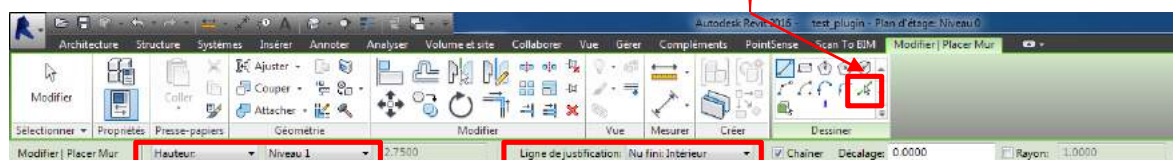
Il faut ensuite cocher les nuages de points que l'on veut rendre visible.

IV Conversion des résultats

La dernière étape consiste à convertir les lignes créées en murs. Pour cela, il faut se rendre dans l'onglet « Architecture », puis cliquer sur « Mur » dans la partie « Création ».



Les différents paramètres relatifs à la création du mur sont alors visibles dans un nouvel onglet. Il suffit alors de spécifier la contrainte de hauteur, caractérisée par le niveau supérieur, puis cliquer sur l'outil de « création de mur à partir d'une ligne »



V Variante : Fichier exécutable

Afin de permettre une utilisation du script réalisé dans d'autres applications, il a été converti en fichier exécutable. Il est disponible sous la forme d'un fichier zip contenant l'exécutable permettant la détection et l'export des coordonnées des murs.

Une seconde version de l'exécutable a été réalisée pour permettre le traitement de plusieurs nuages de points. Cette caractéristique permet de diviser des nuages volumineux en plusieurs parties et de lancer le traitement une seule fois.

Il suffit pour cela de placer les fichiers au format .las rééchantillonné dans un même dossier. Les fichiers résultats, créés pour chaque nuage se trouveront dans un dossier nommé « Résultats plug-in ».

Les fichiers textes contenant les différents résultats peuvent ensuite être lus et importés dans d'autres logiciels de dessin ou modélisation, notamment Autocad.

Création automatique d'une maquette numérique 3D d'un bâtiment à partir d'un relevé scanner laser 3D

Mémoire d'Ingénieur C.N.A.M., LE MANS 2016

RESUME

Le BIM, processus caractérisé par la collaboration et l'interopérabilité intègre une maquette numérique 3D ainsi qu'une base de données. Son utilisation dans le domaine de la réhabilitation est en plein essor et tend à se démocratiser.

A l'heure actuelle, le relevé de l'existant est effectué avec un scanner laser 3D. Seulement, peu d'outils fiables existent pour modéliser un bâtiment à partir d'un nuage de points. L'enjeu est donc de développer une solution adéquate.

Ce travail de fin d'étude s'intéresse à la comparaison des logiciels existants et comporte le développement ainsi que la validation d'une solution d'automatisation. Le script réalisé permet la détection et la création automatique des niveaux et murs d'un bâtiment.

Mots clés : BIM, Maquette numérique 3D, Réhabilitation, Automatisation, Ransac, Revit, Plug-in

SUMMARY

BIM process, characterized by collaboration and interoperability, incorporates a 3D digital model and a database. Its used is rising and tends to be essential in renovation.

Currently, a 3D laser scanner is used for the survey of existing constructions. Only few reliable tools are available to model a building from a point cloud. The challenge is to develop a suitable solution.

This work graduation focuses on the comparison of existing software and includes the development and validation of an automation solution. Realized script allows detection and automatic creation of levels and walls of buildings.

Key words : BIM, Digital model, Renovation, Automation, Ransac, Plug-in