



**HAL**  
open science

# Optimisation de la méthodologie de contrôle de volumétrie à partir d'une maquette BIM et écriture des spécifications fonctionnelles en vue de son automatisatisation

Luca Guerit

## ► To cite this version:

Luca Guerit. Optimisation de la méthodologie de contrôle de volumétrie à partir d'une maquette BIM et écriture des spécifications fonctionnelles en vue de son automatisatisation. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2024. dumas-04785427

**HAL Id: dumas-04785427**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04785427v1>**

Submitted on 15 Nov 2024

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

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

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

---

**MEMOIRE**

**présenté en vue d'obtenir**

**le DIPLOME D'INGENIEUR CNAM**

**SPECIALITE : Géomètre et Topographe**

**par**

**Luca GUERIT**

---

Optimisation de la méthodologie de contrôle de volumétrie à partir d'une  
maquette BIM et écriture des spécifications fonctionnelles en vue de son  
automatisation

**Soutenu le 3 septembre 2024**

---

**JURY**

Madame Elisabeth BOTREL  
Monsieur Charbel MALAK  
Monsieur Jérémie ROBERT

Président du jury  
Maître de stage  
Enseignant référent

## Remerciements

Tout d'abord, je souhaiterais remercier le cabinet Gexpertise, situé à Sèvres de m'avoir chaleureusement accueilli pour la réalisation de mon Travail de Fin d'Étude.

J'aimerais particulièrement adresser mes remerciements à Charbel Antoine MALAK, Géomètre-Expert et maître de stage, pour la confiance qu'il m'a accordée, pour les conseils avisés qu'il m'a fournis et pour son accompagnement précieux dans la réalisation de ce travail.

Je souhaite également remercier l'ensemble des équipes de Gexpertise, pour leur accueil, leur bienveillance et leur professionnalisme.

Parmi eux, je souhaite particulièrement remercier les collaborateurs du Pôle Modélisation ainsi que ceux du Pôle Innovation pour leur aide dans leur domaine d'action respectif.

Je remercie Jérémie ROBERT, mon enseignant référent, pour sa disponibilité et ses conseils dans la réalisation de ce travail et dans la rédaction de ce mémoire.

Enfin, je remercie mes proches pour leur encouragement et le soutien inconditionnel qu'ils m'ont apportés tout au long de ce travail et plus largement au cours de mon cursus à l'ESGT.

## Liste des abréviations

2D : Deux Dimensions

3D : Trois Dimensions

AFUL : Association Foncière Urbaine Libre

API : Application Programming Interface

ASL : Association Syndicale Libre

BIM : Building Information Modeling

EDDV : État Descriptif de Division en Volumes

LoD : Level Of Detail

NGF : Nivellement Général de la France

OGE : Ordre des Géomètres-Experts

SDP : Surface De Plancher

SHON : Surface Hors Œuvre Nette

## Glossaire

**Package** : « Ensemble de logiciels munis d'une documentation, conçus pour répondre à des besoins spécifiques et permettre une utilisation autonome »<sup>1</sup>

**Plugin** : module d'extension ajouté au logiciel principal, qui apporte de nouvelles fonctionnalités

**Prisme** : figure géométrique tridimensionnelle, utilisée dans le régime de la division en volumes, caractérisée par deux faces parallèles identiques et superposables appelées bases, reliées par des faces latérales qui sont des rectangles de hauteur commune.

---

<sup>1</sup> Petit Robert en ligne, visité en ligne [<https://dictionnaire.lerobert.com/definition/package>]

# Table des matières

<b>I</b>	<b>ÉTAT DE L'ART.....</b>	<b>8</b>
I.1	LES GRANDS PRINCIPES DE LA DIVISION EN VOLUMES .....	8
I.1.1	Définition .....	8
I.1.2	Technique.....	8
I.1.3	Les documents régissant la division en volumes .....	10
I.2	LES PRINCIPES GENERAUX DU BIM .....	10
I.2.1	Définition .....	10
I.2.2	Le niveau de détail .....	11
I.2.3	Le rôle du Géomètre-Expert.....	12
I.3	LA DIVISION EN VOLUMES INTRODUITE DANS LA MAQUETTE BIM.....	12
I.4	METHODE UTILISEE POUR LE CONTROLE D'INSCRIPTION DES CONSTRUCTIONS.....	13
I.4.1	Les données relevées sur le terrain : le recollement de l'existant .....	14
I.4.2	Les données juridiques : exploitation de l'EDDV .....	14
I.4.2.1	Le cas des anciennes volumétries.....	15
I.4.2.2	Le cas des nouvelles volumétries .....	15
<b>II</b>	<b>METHODOLOGIE D'AUTOMATISATION DU CONTROLE SUR MAQUETTE : PREMIERES PISTES ET EVOLUTIONS .....</b>	<b>16</b>
II.1	LA MAQUETTE NUMERIQUE, OUTIL DE LA COMPARAISON .....	17
II.1.1	L'importance des techniques de relevé.....	17
II.1.2	Le choix du LoD .....	17
II.1.3	Choix du logiciel Revit .....	19
II.2	UN PROCESSUS SIMPLE MAIS METICULEUX .....	19
II.2.1	Retranscription des volumes théoriques de l'EDDV .....	20
II.2.1.1	Cas d'un EDDV récent.....	20
II.2.1.1.1	Des coordonnées des sommets d'un volume en une famille Revit .....	20
II.2.1.1.2	Un géoréférencement direct .....	23
II.2.1.1.3	Une colorisation pour une meilleure visualisation .....	23
II.2.1.1.4	Un renseignement sémantique totalement automatique .....	24
II.2.1.1.5	Tentative de regroupement des fractions d'un même volume.....	25
II.2.1.2	Cas d'un EDDV ancien .....	26
II.2.2	L'extraction des volumes à partir de la maquette .....	26
II.2.2.1	L'utilisation des Niveaux Revit pour le positionnement altimétrique.....	28
II.2.2.2	Le positionnement planimétrique par dessin d'emprises des volumes.....	29
II.2.3	La procédure de comparaison .....	29
II.2.3.1	Le calcul des écarts.....	30
II.2.3.1.1	La construction des volumes issus de la maquette .....	30
II.2.3.1.2	La sélection du volume théorique de l'EDDV .....	32
II.2.3.1.3	La différence entre deux concepts identiques .....	33
II.2.3.2	La visualisation des écarts .....	34
II.3	LES LIMITES DE LA METHODE .....	35
	Conclusion .....	38
	Bibliographie .....	39
	Liste des figures.....	41
	Table des annexes .....	41

## Introduction

Les chiffres des différentes organisations internationales<sup>2</sup> sont unanimes : la population mondiale ne cesse d'augmenter et la Terre accueillera quasiment 10 milliards d'habitants d'ici 2050<sup>3</sup>. Cette explosion démographique impactera fortement les villes qui accueilleront plus de 7 terriens sur 10. Le défi de logement de cette population grandissante est un enjeu social d'envergure.

Pour satisfaire ce besoin croissant et pressant d'urbanisation, de nouveaux outils sont conçus par les acteurs du secteur de la construction. Le processus BIM, acronyme de l'expression anglaise Building Information Modeling ou Model ou Management, est une des solutions au défi de demain. Ce processus collaboratif regroupe l'ensemble des informations d'un projet ou d'un immeuble existant sur la maquette numérique et offre à ses utilisateurs une connaissance plus fine dans la simulation des coûts, la gestion et l'analyse des données et la prise de décisions. En France, ces dernières années l'OGE souhaite inscrire la profession dans l'ère du BIM en s'engageant dans la démocratisation du processus, puisque les Géomètres-Experts occupent une place essentielle en intervenant en amont, pendant et en aval des projets de constructions. Cette ambition est marquée par le partenariat avec l'association buildingSMART France dans le cadre de l'adoption et de la diffusion des technologies BIM au sein de la profession<sup>4</sup>. Expert de la mesure, il s'inscrit dans la dynamique de cette transition technologique en améliorant ses techniques d'acquisition de données pour répondre aux besoins du secteur. L'évolution nette de ces outils d'acquisition lui permet de passer du levé dit traditionnel 2D (croquis, chaînage, théodolite) à des méthodes de levé de données tridimensionnelles (lasergrammétrie, photogrammétrie ...) à la base de la création de modèles numériques justes et précis, renforçant son rôle incontournable dans le BIM.

Cependant, l'urgence climatique est également une problématique actuelle et réveille les consciences écologiques. L'étalement urbain, que les villes actuelles subissent, aggrave les tensions qui s'exercent déjà sur les ressources foncières et naturelles<sup>5</sup>. Il faut donc trouver

---

<sup>2</sup> Banque Mondiale, Organisation des Nations-Unies ou encore l'Institut National SEE.

<sup>3</sup> Organisation des Nations-Unies, ONU : la population mondiale devrait atteindre 9,6 milliards en 2050, visité en ligne [<https://www.un.org/fr/desa/un-report-world-population-projected-to-reach-9-6-billion-by-2050>]

<sup>4</sup> Ordre des Géomètres-Experts, Communiqué de presse du 13/12/22, *L'OGE soutient la certification des compétences OpenBIM et les formations labellisées par buildingSMART France*

<sup>5</sup> Banque Mondiale, Avril 2023, visité en ligne [<https://www.banquemonde.org/fr/topic/urbandevelopment/overview>]

des solutions pour loger l'ensemble de la population mondiale tout en préservant notre lieu de vie, la Terre. Dans cette logique de bâtir de façon durable, la législation française, intègre, en 2021, ce principe avec l'adoption de la loi Climat et Résilience<sup>6</sup>, visant à réduire les conséquences néfastes de la construction et de l'aménagement sur les sols, la biodiversité et l'environnement. L'objectif de Zéro Artificialisation Nette des sols est fixé pour 2050 et va donc changer la conception du logement de demain. L'OGE est conscient de ces changements futurs et surtout de l'implication de la profession dans cette problématique puisqu'ils se qualifient de « garant d'un cadre de vie durable »<sup>7</sup>. Les membres s'interrogent sur le sujet et tentent de définir collectivement de « nouveaux outils d'aménagement qui [...] permettent de continuer à développer nos territoires tout en concevant des cadres de vie durables et humainement acceptables »<sup>8</sup>, lors d'un colloque intitulé *Les assises nationales de la sobriété nationale*, le 3 et 4 juillet 2024. L'expansion des villes sera donc contrainte et ne pourra plus s'effectuer de façon horizontale. L'une des solutions envisageables est la densification du bâti existant, se traduisant par un développement vertical, comme la surélévation qui peut « répondre à la demande croissante de logements en milieu urbain »<sup>9</sup>.

La concentration en milieu urbain des hommes et l'imbrication de leurs activités impliqueront la création d'ensemble immobiliers complexes. La gestion de ce genre de dispositif aura recours à des régimes tels que la copropriété ou la division en volumes. De plus, dans un contexte de crise immobilière du marché français, où chaque mètre carré compte, la connaissance des limites de propriété est indispensable pour garantir les transactions immobilières. Le Géomètre-Expert est le seul habilité à fixer les limites de propriété et d'en garantir leur exactitude et leur authenticité<sup>10</sup>.

En volumétrie, se pose la problématique de contrôle de l'inscription des constructions dans leurs emprises juridiques. Chez Gexpertise Conseil, ce contrôle manuel, à partir de l'État Descriptif de Division en Volumes et des plans annexés, est effectué en 2D + 1 (planimétrie puis altimétrie), alors que les relevés peuvent être tridimensionnels. Ces

---

<sup>6</sup> Loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets

<sup>7</sup> Slogan de l'Ordre des Géomètres-Experts

<sup>8</sup> Ordre des Géomètre-Experts, visité en ligne [<https://www.lesassisesnationalesdelasobrietefonciere.fr>]

<sup>9</sup> Gexpertise, Juin 2024, Webinaire Gexpertise : *La surélévation, comment exploiter le potentiel caché de votre bâtiment ?* visité en ligne [<https://www.gexpertise.fr/post/webinaire-gexpertise-la-surelevation-comment-exploiter-le-potentiel-cache-de-votre-batiment>].

<sup>10</sup> Loi n° 46-942 du 7 mai 1946 instituant l'Ordre des Géomètres-Experts

missions sont principalement réalisées avec des outils facilitant la manipulation terrain (scanners lasers), mais le potentiel du processus de traitement des données en découlant n'est pas totalement exploité. En effet, le contrôle de l'inscription des constructions dans leurs volumes théoriques avec des données 3D, a toujours recours au 2D avec l'extraction et l'analyse de plans et de coupes.

L'objectif de ce travail de recherche est de mettre en place une méthodologie de contrôle de l'inscription des constructions dans leurs volumes théoriques utilisant directement les données tridimensionnelles. L'exploitation d'une maquette numérique, outils du BIM est l'approche abordée dans ce mémoire, visant à automatiser ce processus afin de rendre ces activités plus efficaces.

Pour répondre à cette problématique, nous décrirons dans un premier temps les principes de la division en volumes et ses spécificités avant de mettre en avant les propriétés et les qualités du processus BIM pour l'intégration du régime dans la maquette. Ensuite, nous détaillerons la méthodologie utilisée aujourd'hui pour réaliser ce contrôle et ses limites. Enfin, nous proposerons la description de la méthodologie imaginée pour répondre à cette problématique.

# I État de l'art

Afin de comprendre la portée du sujet, il est important d'introduire les notions fondamentales mises en jeu dans ce mémoire, que sont le régime de la division en volumes et le processus BIM.

## I.1 Les grands principes de la division en volumes

### I.1.1 Définition

La division en volumes permet de scinder un bien, somme de propriétés distinctes, sans qu'il y ait l'intervention de parties communes. Ces fractions autonomes, situées au-dessus ou en dessous du sol, doivent être définies tridimensionnellement avec des coordonnées et des altitudes. L'immeuble est divisé en pleine propriété, à savoir exclusivement en parties privatives/exclusives. Il n'y a pas de parties communes. En revanche, devra être mis en place, un réseau de servitudes, éléments communs en indivision<sup>11</sup>.

Cette pratique trouve ses origines dans une évolution jurisprudentielle de la législation française. La notion d'immeubles, présent dans l'article 552 du Code Civil<sup>12</sup> introduit implicitement la notion de volume dans la définition de la dimension du sol. De plus l'article 553 du Code Civil<sup>13</sup>, admet que droit de superficie offre la possibilité de dissociation des éléments du fonds, entraînant ainsi une superposition des propriétés. Cela signifie qu'il est possible de séparer la propriété du sous-sol (tréfoncier) de celle du sol et de ses constructions (superficiaire).

### I.1.2 Technique

Dès 1958, une création doctrinale apparaît en même temps que la montée de l'urbanisation des années 1960, marquée par les grands ensembles. L'intellectuel René SAVATIER voyait cette possibilité de déroger à ces articles et d'avoir recours à une méthode pouvant faire face aux limites de la copropriété<sup>14</sup>. Simultanément, le projet de création du quartier d'affaires de *La Défense*, en Île de France voit le jour. Cette opération s'articule autour de l'esplanade centrale piétonne, symbole et identité de ce lieu où le chevauchement

---

<sup>11</sup> Daniel SIZAIRE, *Division en volumes et copropriété des immeubles bâtis*, JCP 1988

<sup>12</sup> Code Civil, 1804, Article 552 : « La propriété du sol emporte la propriété du dessus et du dessous »

<sup>13</sup> Code Civil, 1804, Article 553 : « Toutes constructions, plantations et ouvrages sur un terrain ou dans l'intérieur, sont présumés faits par le propriétaire à ses frais et lui appartenir, si le contraire n'est prouvé... »

<sup>14</sup> René SAVATIER, *Vers de nouveaux aspects de la conception et de la classification juridique des biens corporels*, RTD Civ., 1958, p. 8

et l'imbrication du domaine public et des propriétés privées se côtoient (transport routier, transport en communs, galeries commerciales et bureaux)<sup>15</sup>. Le régime de la copropriété est incompatible avec la domanialité publique notamment à cause de son principe d'inaliénabilité et d'imprescriptibilité. Il était donc nécessaire de trouver un montage juridique capable de le gérer. En 1962, le notaire Claude THIBIERGE, accompagné du Directeur juridique de l'Établissement Public d'Aménagement de la Défense Jean CUMENGE, introduisent le concept de la division en volumes pour ce projet d'envergure.

Ce genre d'opérations immobilières modernes est devenu monnaie courante, et les bâtiments les composant se nomment ensembles immobiliers complexes. La caractéristique principale et fondamentale de la complexité est l'imbrication de fractions d'immeubles affectées à des activités variées et présentant une forte autonomie. La complexité d'un ensemble immobilier est une notion ambiguë dans la profession, où les avis sont toujours divergents. Ce régime a été créé pour intervenir là où le régime de copropriété présentait ses limites. Sa particularité est son caractère contractuel. Cela signifie que son créateur possède une totale liberté dans la conception du montage, mais doit, tout de même, répondre aux critères précis d'une volumétrie, sous peine d'une requalification en copropriété.

Son recours apparaît donc comme avantageux face au régime strict de la copropriété. De ce fait, certaines pratiques abusives de la volumétrie ont donc été composées afin de contourner le caractère impératif de la loi de 1965<sup>16</sup>. Pour contrer ces pratiques, la loi ELAN de 2018<sup>17</sup> et la réforme sur la copropriété de 2019<sup>18</sup> en découlant fixent la copropriété comme le régime par défaut et apportent des précisions sur la possibilité de certains ensembles immobiliers, à déroger à la loi du 10 juillet 1965, en changeant son article 1<sup>er</sup>.

Enfin, la loi stipule la mise « en place [d'] une organisation dotée de la personnalité morale et suffisamment structurée »<sup>19</sup> afin de gérer de façon saine et pérenne de tels ensembles. Deux organes de gestions se sont imposés : l'Association Syndical Libre (ASL) et l'Association Foncière Urbaine Libre (AFUL). Elles ont pour but principal d'assurer le

---

<sup>15</sup> NMW Avocat, « La Défense : les spécificités juridiques », 2012, 6ème Colloque Sorbonne Immo, consulté en ligne [<https://www.nmw.law/wp-content/uploads/Colloque-Sorbonne-Immo-La-De%CC%81fense.pdf>]

<sup>16</sup> Loi n° 65-557 du 10 juillet 1965 fixant le statut de la copropriété des immeubles bâtis

<sup>17</sup> Loi n° 2018-1021 du 23 novembre 2018 portant Évolution du Logement, de l'Aménagement et du Numérique (ELAN)

<sup>18</sup> Ordonnance n° 2019-1101 du 30 octobre 2019 portant réforme du droit de la copropriété des immeubles bâtis

<sup>19</sup> Loi n° 65-557 du 10 juillet 1965 fixant le statut de la copropriété des immeubles bâtis, article 1

contrôle effectif des règles mises en place dans le cahier des charges et la gestion des « éléments fédérateurs » de la division en volumes, dont elles sont propriétaires.

### **I.1.3 Les documents régissant la division en volumes**

De manière générale, le Géomètre-Expert établit l'État Descriptif de Division en Volumes (EDDV). L'EDDV est un document technique permettant l'expression, la définition et la désignation des volumes (ou fractions de volumes) définis par rapport à l'assiette foncière. Les plans par niveau et les coupes annexés viennent illustrer graphiquement la division en volumes. Les plans indiquent l'emprise planimétrique des volumes tandis que les coupes offrent un point de vue différent en aidant à la compréhension des superpositions des volumes du montage. Juridiquement, chaque volume est considéré comme une entité autonome. Cependant, leur imbrication ne permet pas de les envisager de façon indépendante. Le rôle du cahier des charges et des servitudes est donc de statuer sur leurs relations en complétant l'EDDV. D'une part, il organise les relations qu'entretiennent les volumes entre eux, avec la mise en place d'un réseau de servitudes, favorisant le fonctionnement du montage. D'autre part, il crée aussi un maillage juridique pour garantir la pérennité de l'ensemble. Il régit également la répartition des charges relatives aux « éléments fédérateurs », appartenant à l'organe de gestion. Les statuts de l'organe de gestion, que ce soit une ASL ou une AFUL, précisent le mode de fonctionnement de ce dernier, les pouvoirs qui lui sont conférés, le mode de financement choisi ou encore les conditions de représentation, de réunion et de vote à l'assemblée générale, qui se compose de l'ensemble des propriétaires des volumes.

## **I.2 Les principes généraux du BIM**

### **I.2.1 Définition**

Le BIM est une méthode de travail axée sur la collaboration d'acteurs, autour d'une maquette numérique, composée de données. C'est un avatar numérique d'un actif bâti<sup>20</sup>, qui facilite sa conception, sa construction et son exploitation. Elle a pour but la maîtrise et l'amélioration des enjeux liés à la conception d'un bâtiment, tout en réduisant les coûts du projet. La maquette BIM est l'élément central du travail entre les différents intervenants. Elle se compose d'objets auxquels sont attachées une multitude d'informations, de données sémantiques ou de caractéristiques techniques. Elle fait intervenir des objets de famille

---

<sup>20</sup> RICHARD D, *Le droit des BIM*, 2020, LexisNexis, page 15

paramétrique. En plus d'assurer la cohérence et l'uniformité du projet, leur intervention permet de garantir et de faciliter la collaboration de l'ensemble des acteurs du BIM, notion fondamentale du BIM. Les échanges entre les différents acteurs permettent de partager les informations précises et actualisées pour une prise de décision certaine et éclairée et se font sous forme d'un fichier d'échange universel, l'IFC (Industry Foundation Class).

### I.2.2 Le niveau de détail

Le niveau de détail (LoD) est un critère qui caractérise la maquette numérique. Il permet de décrire la qualité de la modélisation. Notion omniprésente, il varie en fonction du détail géométrique modélisé et des informations des objets que la maquette intègre. Il s'agira de définir le niveau de détail de la maquette en fonction des besoins du client et de l'utilisation qu'il souhaite en faire. Le LoD est défini par l'AIA (American Institute of Architects), en 2008, sous forme d'échelle (Figure 1) :

- LoD 100 : l'élément du modèle est représenté de façon abstraite.
- LoD 200 : l'élément du modèle est représenté avec des formes et des dimensions approximatives.
- LoD 300 : l'élément du modèle est représenté avec sa forme et ses dimensions exactes.
- LoD 400 : l'élément du modèle est représenté avec sa forme, ses dimensions exactes et son orientation. Des informations sémantiques peuvent également être intégrées à chaque objet.
- LoD 500 : l'élément du modèle reflète la réalité, avec sa forme, ses dimensions, son orientation, son emplacement et sa quantité exacte. Des informations sémantiques sont également intégrées à chaque objet.

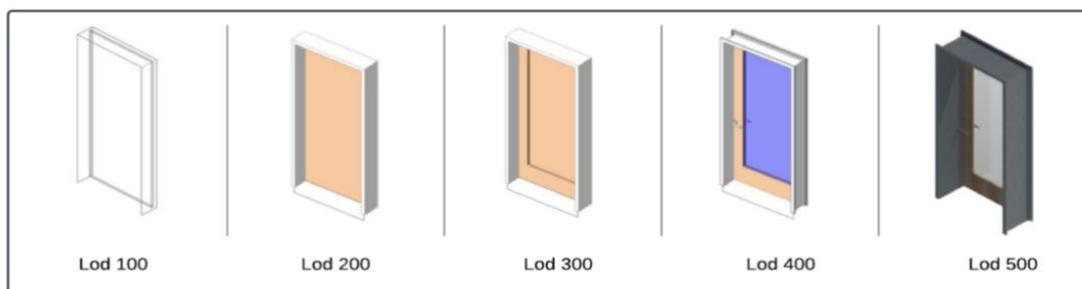


Figure 1 : Différence de LoD sur un même objet (source : Académie de Nantes)

Pour les projets immobiliers, la maquette n'est réellement exploitable qu'à partir du LoD 300. Les informations renseignées sont suffisamment précises pour garantir la qualité de la donnée. Il est courant de trouver un échelon intermédiaire : le LoD 350. Ce niveau de détail ne fait pas partie de la normalisation internationale, mais s'est vu imposer par la

pratique. Il reprend l'essentiel des caractéristiques du LoD 300, mais mêle également des informations spécifiques souhaitées par le client.

### **I.2.3 Le rôle du Géomètre-Expert**

Le Géomètre-Expert peut intervenir à plusieurs moments clé de la vie d'un bâtiment. Dans un premier temps, entre la phase de Programmation et celle de Conception, l'intervention du Géomètre-Expert est incontournable. Spécialiste de la mesure, les relevés de précision qu'il maîtrise, seront utilisés dans la fabrication d'une maquette BIM dite « telle que construit ». Dans ces conditions, la modélisation de la maquette peut s'effectuer de façon plus fidèle, avec des données exactes acquises sur le terrain avec du matériel technologique de pointe (relevé lasergrammétrique dans la plupart des cas).

Dans un second temps, lors de la phase d'Exploitation, le Géomètre-Expert aide les gestionnaires dans la prise de décision en participant à la production de documents. La maquette numérique offre une aide précieuse dans la rédaction de pièces administratives, comme pour la mise en place d'une copropriété ou d'une division en volumes.

Malgré son large périmètre de compétences, le Géomètre-Expert tient une place limitée dans le processus BIM en France. Cependant, son expertise dans la mesure, permettant une précision de modélisation de la maquette, dans laquelle il tente d'intégrer des notions juridiques, doit faire de lui un atout dans l'évolution du processus BIM en France.

## **I.3 La division en volumes introduite dans la maquette BIM**

Depuis plusieurs années, l'intégration de données foncières dans une maquette numérique fait l'objet de nombreux travaux de recherche. Quelques notions sur le sujet sont récapitulées ci-après et permettent de comprendre la portée du travail détaillé ultérieurement.

La première idée d'incorporation de notions juridiques émerge et l'on se questionne sur la faisabilité d'intégration de données foncières dans une maquette numérique. A travers son mémoire, Maud LAURENCIN<sup>21</sup> apporte une réponse nuancée. Il est possible de modéliser une volumétrie ainsi que les contraintes d'urbanisme en découlant (servitudes d'utilité publique, servitudes de passage, contraintes de vue et de jour...) mais de nombreux inconvénients dans l'établissement d'un protocole surgissent, notamment dû aux limites des outils que propose le logiciel Revit choisi. Dans la continuité de ce travail, Simon

---

<sup>21</sup> Maud LAURENCIN, 2017. *L'intégration des données complémentaires (données foncières, divisions en volumes, environnement) au sein d'une maquette numérique au format Revit*. TFE, ESGT, 65p.

COUSSEAU<sup>22</sup> apporte un nouveau regard et cherche en plus à insérer les données d'une division en volumes dans la maquette. Il réussit à intégrer les informations d'une volumétrie dans la maquette mais note des obstacles logiciels qui rendent sa méthode friable. Il essaie également d'automatiser la modélisation de la volumétrie mais rencontre quelques difficultés lorsque les volumes sont de formes complexes. Enfin, Raphaël BERT<sup>23</sup>, en même temps que de réussir à faire fonctionner l'établissement d'un EDDV à partir de l'outil central du BIM, qu'est la maquette, s'essaye à l'amélioration de l'automatisation des tâches précédemment traitées par les TFE.

Ainsi, l'incorporation d'une volumétrie dans une maquette, en son entièreté, est un sujet fréquent. Son amélioration au cours du temps n'a pas encore permis de rendre un protocole d'automatisation réellement exploitable. Les principales difficultés rencontrées proviennent des outils intéressants mais qualifiés de non-adaptés pour la situation, par ces ingénieurs. Dans le cas d'une volumétrie existante, le contrôle d'inscription des constructions dans les volumes tels que définis à l'EDDV est une problématique non traitée dans les précédents travaux. Aujourd'hui, cette méthodologie actuelle, détaillée ci-après, n'exploite pas le potentiel de la maquette numérique.

#### **I.4 Méthode utilisée pour le contrôle d'inscription des constructions**

Dans un contexte de marché immobilier à forts enjeux, la vérification de la bonne inscription de ces constructions dans leur emprise théorique est une information que les propriétaires souhaitent connaître, afin de s'assurer de la conformité de la situation. Ils cherchent donc à savoir si les constructions se situent à l'intérieur des volumes, tels qu'ils sont décrits dans l'EDDV. À l'heure actuelle, la méthodologie utilisée par les collaborateurs pour répondre à cette problématique n'est pas optimale. En effet, le travail de comparaison nécessite la réalisation d'étapes méticuleuses, manuelles et fastidieuses pouvant être source d'erreur. La procédure standardisée de comparaison s'articule autour d'une première vérification manuelle planimétrique, sur plan 2D. Tandis que la seconde étape consiste à réaliser un simple contrôle altimétrique de cote NGF.

---

<sup>22</sup> Simon COUSSEAU, 2019. *Intégration des données d'une division en volumes dans une maquette numérique*. TFE, ESGT, 81p

<sup>23</sup> Raphaël BERT, 2020. *Automatisation de la rédaction des États Descriptifs de Division en Volumes à partir de maquettes numériques*. TFE, ESGT, 66p

#### **I.4.1 Les données relevées sur le terrain : le recollement de l'existant**

Deux méthodologies sont couramment utilisées pour les mesurages, permettant d'établir un état des lieux à la date des relevés. La première, appelée méthode traditionnelle, consiste à effectuer les relevés avec une station totale et des croquis permettant d'acquérir les données et d'établir les plans en 2D. La deuxième méthode est la réalisation d'un relevé lasergrammétrique. Les données 3D en découlant sont utilisées pour la génération d'un nuage de points. À partir de ce dernier, les plans peuvent être établis de deux manières différentes : soit des plans en 2D dressés à partir de tranches (coupes) à des niveaux définis sur le nuage de points. Soit la réalisation d'une maquette BIM (en 3D) de laquelle seront extraits des plans 2D. Cette dernière solution présente un grand intérêt, puisqu'elle offre un réel avantage en alliant construction en 3D et représentation par coupes 2D. Cependant, l'extraction de plan 2D depuis la maquette est à utiliser avec parcimonie, puisqu'elle comporte des inconvénients. En effet, il est difficile d'assurer une finesse de modélisation depuis le nuage de points. La précision de la maquette dépendra du paramétrage du LoD déterminé mais aussi des éléments que l'opérateur a choisi de modéliser, par l'interprétation du nuage de points. De plus, dans certaines situations, son utilisation atteint ses limites. Faisant intervenir des objets paramétriques (voir paragraphe précédent), la modélisation est imprécise lorsque le bâtiment comporte des spécificités structurelles, comme certains murs de bâtiments haussmanniens où la non verticalité et les variations d'épaisseurs sont difficiles à gérer. L'adaptation de ces objets paramétriques reste encore un obstacle à franchir.

Cette perte d'informations et de détails peut engendrer une dégradation de la qualité du rendu et donc de la méthode. L'extraction des plans 2D à partir de la maquette se fait par tranche impliquant occasionnellement des pertes d'informations comme par exemple pour les zones de toiture sous pente. Il est donc nécessaire de vérifier ces plans et de les compléter le cas échéant. L'exploitation des données et l'établissement des plans 2D (et de la maquette par la même occasion), demeurent des phases indispensables du processus puisqu'elles conditionnent les résultats de la procédure de comparaison.

#### **I.4.2 Les données juridiques : exploitation de l'EDDV**

Le second jeu de données correspond aux plans annexés à l'EDDV et représentant la division à la date de son établissement. Cependant, en fonction de la date de mise en vigueur, deux procédures de comparaison différentes sont possibles et qui aboutissent aux mêmes résultats.

#### **I.4.2.1 Le cas des anciennes volumétries**

Le plus souvent, les anciennes volumétries se composent seulement d'une description sommaire des volumes, représentés sur des plans et non-disponibles au format digital. C'est pourquoi, pour pallier ce manque de données informatiques, un processus de reconstruction graphique est nécessaire. Cette étape consiste à digitaliser les plans originaux de l'EDDV. Les plans sont scannés puis intégrés et mis à l'échelle dans le logiciel de dessin assisté par ordinateur utilisé chez Gexpertise. L'étape suivante de comparaison permet de déterminer si les évolutions du bâtiment ou tous autres phénomènes ont pu engendrer des modifications entre les relevés et la définition des volumes telle qu'elle résulte de l'EDDV. Cette simple étape, sur le papier, peut se résumer à la superposition des deux plans. Cependant, le calage des deux plans entre eux est une étape très méticuleuse. Une intervention d'un opérateur est obligatoire afin d'y procéder. Effectuée de façon manuelle, l'opérateur essaie de minimiser les erreurs de recalage sur l'ensemble du projet en proposant une superposition homogène. Il prend comme référence les plans issus du levé *Les données relevées sur le terrain : le recollement de l'existant* et sur lesquels il recala et met à l'échelle les fichiers numérisés des plans annexés à l'EDDV. Des ajustements, comme une mise à l'échelle ou des rotations sont opérés afin de faire correspondre le PDF au dessin. Une première vérification planimétrique peut être alors effectuée. Le contour de chaque volume est inspecté afin de déterminer d'éventuels écarts planimétriques entre les plans issus des relevés et la définition des contours des volumes résultant de l'EDDV. Cette vérification visuelle permet de déterminer les écarts importants liés à la géométrie sans quantifier les petits écarts en raison de la précision. Enfin, une vérification altimétrique est exécutée. Elle consiste en la comparaison des cotes altimétriques présentes dans l'EDDV (« cote altimétrique inférieure » et « cote altimétrique supérieure ») de celles obtenues lors du levé.

#### **I.4.2.2 Le cas des nouvelles volumétries**

Seules les divisions en volumes récentes incorporent les données sous forme de plans digitaux géoréférencés. Lorsque les deux plans sont déjà digitalisés et géoréférencés, cette superposition se fait sans intervention humaine. Une légère réadaptation peut être nécessaire afin d'optimiser le recalage. La lecture des écarts peut se faire directement. Enfin, la procédure de vérification altimétrique est identique à celle expliquée dans le cas des anciennes volumétries. À ce jour, au vu des techniques de relevés utilisées et de la qualité des données issues de la volumétrie d'origine, une certaine tolérance sur les écarts planimétriques est acceptable, généralement de l'ordre de 4-5cm. En dessous de cette marge,

l'incertitude sur les données utilisées et le recalage ne permettent pas d'affirmer que le problème provient de l'inscription des constructions dans l'emprise du volume. Si les écarts constatés dépassent cette tolérance, l'anomalie de l'inscription des constructions dans le volume est généralement avérée. Un rapport relatant la non-inscription des constructions dans l'emprise des volumes est rédigé. En vue de régulariser la situation, l'établissement d'un modificatif de l'EDDV est alors conseillé.

Procédure actuelle pour un contrôle d'inscription des constructions dans les emprises des volumes

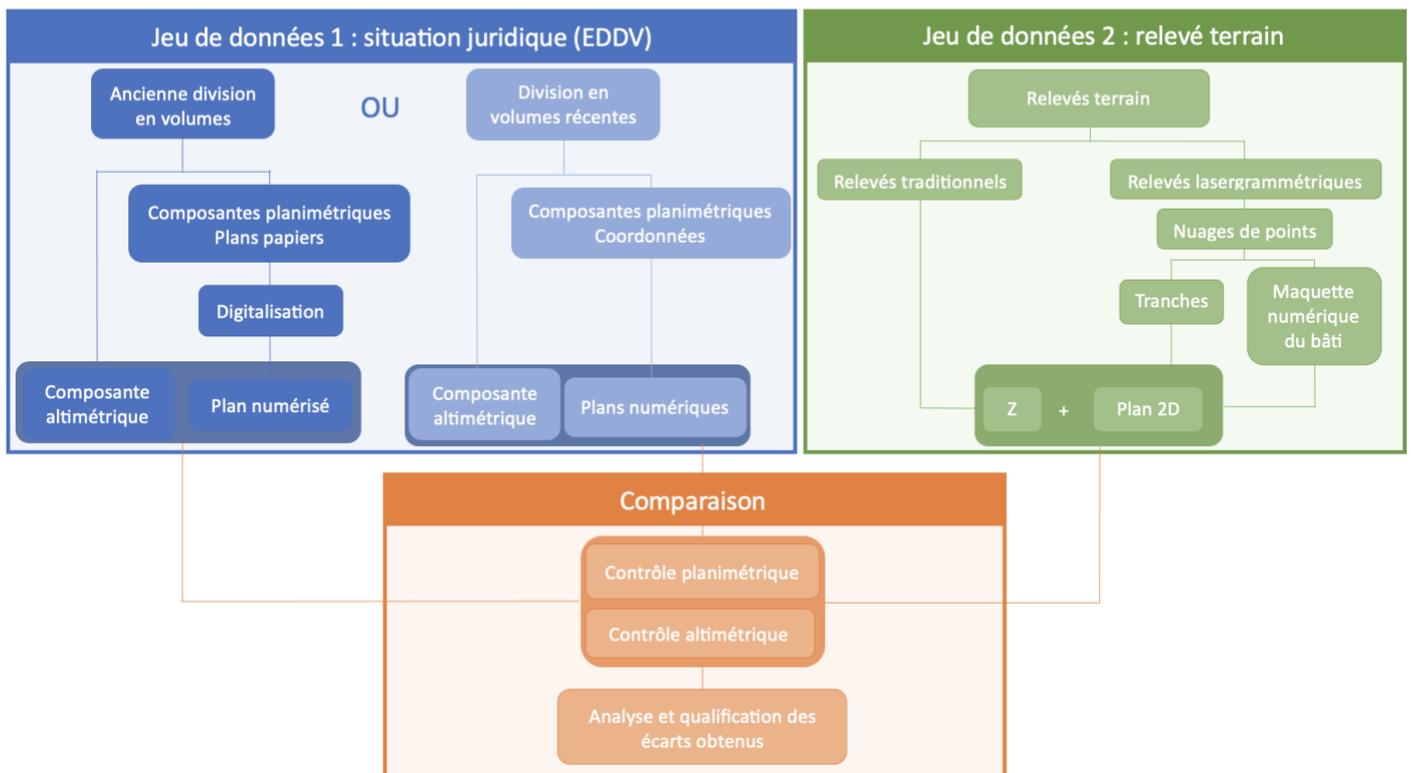


Figure 2 : Schéma récapitulatif de la procédure actuelle employée pour effectuer le contrôle d'inscription des constructions dans les volumes (source personnelle).

## II Méthodologie d'automatisation du contrôle sur maquette : premières pistes et évolutions

Cette partie est consacrée à la recherche d'une méthodologie d'automatisation du contrôle d'inscription des constructions dans leurs volumes théoriques, à partir d'une maquette BIM. Le gain de temps et de productivité en minimisant les erreurs lors des extractions manuelles sont les principaux objectifs de ces recherches, qui rendront la technique efficace et plus performante.

Il est important de noter que la maquette numérique est le produit sur lequel s'appuie cette étude. La connaissance de sa précision est donc un critère crucial pour appréhender la

procédure de contrôle. La compréhension de son élaboration, de l'acquisition des données à la création avec des logiciels professionnels sont des étapes primordiales dans le contexte de l'étude que nous souhaitons rappeler.

## II.1 La maquette numérique, outil de la comparaison

### II.1.1 L'importance des techniques de relevé

La création de la maquette numérique repose sur les données acquises sur le terrain. La technique d'acquisition choisie engendre des imprécisions sur les données utilisées pour la modélisation. En plus de cela, s'additionne la précision de modélisation choisie pour la maquette, via le LoD.

Le plus souvent, lorsque des notions juridiques interviennent, telle la division en volumes, l'utilisation d'un scanner laser statique est privilégiée, garantissant une plus grande précision que les systèmes dynamiques. Le levé d'acquisition est complété par un relevé topographique de cibles qui contraindra le nuage lors de son assemblage. Les cibles sont également rattachées au système de coordonnées français en vigueur<sup>24</sup>, par la méthode GNSS nRTK, permettant d'obtenir une précision moyenne de 5 cm.

Les calculs topographiques et lasergrammétriques donnent naissance à un nuage de points géoréférencé, base de la modélisation de maquette « telle que construite » (Figure 3). Comme les BIM Modeleurs ont une lecture différente de la conception de maquettes de celle d'un Géomètre-Expert, il est impératif de leur préciser les exigences sur le rendu final souhaité. Ils s'attachent à une reconstitution réelle et fidèle de chaque élément constituant l'aménagement tandis que les Géomètres-Experts ont une vision plus pragmatique, basée sur le respect de la géométrie globale des lieux.

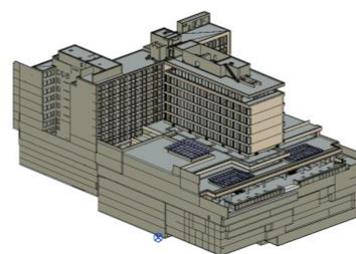


Figure 3 : Exemple d'une maquette numérique produite au sein du cabinet (source personnelle)

### II.1.2 Le choix du LoD

Une attention particulière doit donc être portée à la précision et aux caractéristiques de la maquette numérique. Pour cela, nous avons été confrontés à la détermination du niveau de détails de la maquette. La précision des relevés lasergrammétriques est suffisante pour une modélisation à partir du LoD300. Les possibilités sont donc nombreuses, mais la

---

<sup>24</sup> Système de référence légal français : RGF93, ellipsoïde GRS80, méridien d'origine Greenwich, projection Lambert Conique Conforme 9 zones, IGN69.

décision doit être réfléchi et doit tenir compte des précisions attendues, du temps passé à la modélisation et du rendu souhaité.

Vu les enjeux de ces missions de contrôle, il est impensable de se restreindre à une modélisation au LoD100 qui ne garantit pas la précision attendue. Cet argument est applicable au LoD200, où les objets sont définis avec leur forme réelle mais leurs dimensions restent approximatives. Dans le prolongement, les objets modélisés en LoD300 sont plus détaillés et sont représentés plus finement avec leurs tailles, emprises, positions et volumes réels. Ensuite, il n'existe aucune distinction géométrique entre les maquettes de LoD300 et LoD400 produite par le cabinet Gexpertise. La différence réside dans le contenu informationnel de l'objet modélisé, qui n'a que très peu d'importance dans le contrôle d'inscription des volumes. Cela signifie que la modélisation au LoD400 et plus, n'est pas adaptée à la situation et donc pas nécessaire.

Les niveaux de détails 200 et 300 semblent donc être un bon compromis entre le détail demandé de la modélisation et le temps nécessaire à sa réalisation. Le LoD200, est certes moins précis mais reste suffisant pour répondre à la problématique et nécessite un temps de modélisation largement inférieur par rapport aux détails présents dans un LoD300. La précision de ce dernier n'est pas négligeable, ce qui en fait sa force, mais entraîne un surplus de temps de modélisation pour l'atteindre.

Dans le cas d'une maquette conçue pour la représentation et le contrôle d'une division en volumes, les zones les plus sensibles, qui nécessitent une modélisation avec davantage de finesse, sont les espaces de délimitation et de chevauchement des volumes. Ce sont, par exemple, l'axe d'un mur, le nu extérieur d'un bâtiment ou encore la sous face de dalle pour la délimitation altimétrique. Comme la séparation des volumes doit s'effectuer de façon non équivoque, il est indispensable que ces espaces soient les plus clairs, compréhensibles et précis possible. Les objets à l'intérieur de ces derniers n'ont pas besoin d'une modélisation poussée mais restent tout de même utiles pour une bonne compréhension de la situation des lieux.

Ainsi, même si le LoD200 est suffisant pour notre analyse, les besoins du client vont généralement amener au choix d'une modélisation au LoD300. Ce choix s'explique par la précision de la modélisation qui permettra d'assurer les résultats obtenus. Cependant, il existe quelques cas exceptionnels où le LoD300 ne sera pas atteignable. Le Géomètre-Expert ne pourra pas assurer cette précision et se contentera d'une modélisation au LoD200. Cela s'applique lorsque les relevés ont été réalisés par méthode classique (croquis et mesures au distancemètre) et non au scanner laser.

### **II.1.3 Choix du logiciel Revit**

Revit de la suite Autodesk est l'un des principaux logiciels de modélisation utilisés avec ArchiCAD ou Allplan. Le logiciel inclut, à l'intérieur du projet, la création de familles paramétriques ce qui représente un atout majeur : une fois intégrées au projet, elles se lient directement à celui-ci, éliminant ainsi la nécessité de stocker les données séparément et simplifiant grandement la gestion des informations. En plus de cela, c'est le logiciel qui est utilisé au sein de Gexpertise pour la modélisation 3D. C'est également ce dernier que j'ai eu l'occasion de manipuler lors de travaux pratiques à l'ESGT. C'est donc tout naturellement que je me suis tourné vers celui-ci.

Le logiciel Revit intègre également le plugin Dynamo, une extension basée sur la programmation visuelle qui offre des capacités complémentaires pour les actions Revit. Son utilisation est gérée par les API (Application Programming Interface), qui permettent de transmettre et de communiquer les données entre le logiciel et Dynamo. En effet, grâce à ces API, Dynamo a accès aux fonctionnalités de Revit, en fournissant les objets, les classes et les familles existantes dans le projet. De plus, l'usage de Dynamo est utile pour manipuler et modifier les données, en automatisant certaines opérations répétitives et complexes par l'intermédiaire de scripts. De plus, son caractère open source est un avantage considérable dans son adoption. Des « packages », ensemble de nœuds créés par des membres de la communauté Dynamo, sont téléchargeables et utilisables. Ils ont la particularité d'être très spécifiques et répondent à des besoins très particuliers (voir paragraphe sur l'utilisation de l'un d'entre eux).

## **II.2 Un processus simple mais méticuleux**

La problématique reste la même que pour le traitement des données en 2D. Il faut donc tenter de la transposer avec l'utilisation de données tridimensionnelles en trouvant une méthodologie de comparaison basée sur la confrontation de jeux de données équivalents. D'abord, la transformation des données de l'EDDV constitue le premier enjeu de taille, à cause de la diversité des actes de volumétrie en vigueur dans le parc immobilier français (anciens et récents). Comme évoqué précédemment, ne comportant pas toutes les mêmes caractéristiques, il faut standardiser les données d'entrée pour rendre la création des volumes opérationnelle dans l'intégralité des cas. Ensuite, à partir de la maquette, la solution est de recréer les volumes tels qu'ils sont décrits dans l'EDDV mais avec la géométrie d'aujourd'hui. Enfin, la méthode de comparaison permet d'obtenir des résultats exploitables

et une visualisation les illustrant. Une description détaillée des manipulations à réaliser pour la réussite de la méthode est visible en Annexe 1.

## **II.2.1 Retranscription des volumes théoriques de l'EDDV**

### **II.2.1.1 Cas d'un EDDV récent**

#### ***II.2.1.1.1 Des coordonnées des sommets d'un volume en une famille Revit***

Les nouvelles volumétries intègrent généralement un tableau avec l'ensemble des coordonnées des sommets des volumes de l'EDDV. Ces descriptions précises et tridimensionnelles des volumes permettent la transmission fidèle des informations de l'EDDV vers la maquette numérique.

Nous avons fait le choix de les utiliser, comme l'a déjà fait Simon COUSSEAU<sup>25</sup>, dans son travail.

Il est important de préciser que dans l'intégralité des cas, les volumes d'une division en volumes sont des prismes. Dans le cas où la géométrie des constructions est complexe, comme pour les bâtiments architecturaux modernes ou de formes courbées, il est possible de les définir géométriquement avec des coordonnées en les segmentant. L'élément ondulé doit subir une décomposition en segments de droite, pouvant ainsi être défini dans l'espace par des coordonnées. Plus les segments décomposés sont petits, plus l'approximation sera précise.

Cette traduction de l'EDDV s'effectue sous forme d'un fichier Excel. Ce choix s'explique par l'existence d'une fonction native de Dynamo qui permet de récupérer les données depuis ce type de fichier. Cependant, son élaboration demande une intervention humaine, puisque les informations doivent être saisies manuellement dans ce fichier. Ce remplissage représente une étape primordiale dans le processus d'automatisation parce que l'ensemble des scripts codés et exécutés ensuite dépendent essentiellement de ce document.

---

<sup>25</sup> Simon COUSSEAU, 2019. *Intégration des données d'une division en volumes dans une maquette numérique*. TFE, ESGT, page 40

Une attention particulière doit donc être portée sur son formatage et à la qualité de la saisie (Annexe 1 – Formatage du Fichier Excel).

Dans le fichier Excel, une feuille de calcul correspond à une fraction de volume (ou un volume en son entièreté s’il n’est pas composé de fractions). Le script Dynamo permettant la modélisation des volumes définis à l’EDDV s’organise autour de plusieurs actions clés (Figure 4) :

- Étape 1 : Importation des coordonnées des sommets des volumes
- Étape 2 : Liaisons des sommets consécutifs d’une même face sous forme de polyligne => Formation des deux périmètres : périmètre de la face inférieure et périmètre de la face supérieure
- Étape 3 : Extrusion du volume entre les deux faces parallèles

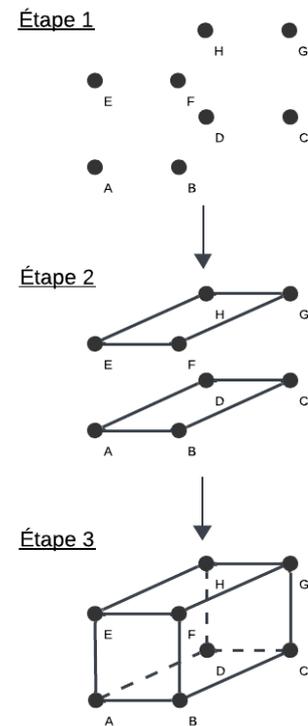


Figure 4 : Étapes nécessaires dans la construction d'un volume issu de sa description par les coordonnées depuis l'EDDV (source personnelle).

Deux fonctions d’extrusion pour la création de volumes à l’aide de Dynamo sont proposées par le logiciel Revit. Simon COUSSEAU<sup>26</sup> confronte les fonctions *Volume Solid* et *Volume Form*. Notre choix, d’opter pour la création d’un volume *Form*, s’appuie sur les avantages que propose ce nœud, émis par l’ingénieur. La création d’une famille par entité de volumes est un réel avantage pour effectuer le contrôle d’inscription des constructions dans leurs volumes. Les étapes de sélection, de classement et de comparaison seront plus facilement optimisables. De plus, il permet le renseignement sémantique de la famille et la colorisation, utile pour une meilleure compréhension de la situation.

La fonction d’extrusion *Form.ByLoftCrossSections* est contraignante parce qu’elle n’est applicable que dans la fenêtre de création d’une famille. Cependant, c’est devenu une force puisque nous avons défini un fichier de gabarit de famille Revit, englobant l’ensemble des paramètres souhaités comme l’unité de longueur ou l’intégration de matériaux. Ce modèle permet de garantir l’homogénéité des données.

Dans sa première version, le script « 01-Volume.dyn » (Annexe 2) prévoyait la création, un par un, des volumes composant la division. Cette étape a déjà été accomplie par les précédents étudiants qui ne réussissaient qu’à le mettre en place pour une situation où le

<sup>26</sup> Simon COUSSEAU, 2019. *Intégration des données d’une division en volumes dans une maquette numérique*. TFE, ESGT, page 40

nombre de sommets était déjà connu. Comme le soulignait BERT Raphaël<sup>27</sup>, la réitération de ces actions justifierait « une amélioration notable en matière d'automatisation [...] [qui] serait un gain de temps mais surtout un gain important de fiabilité pour la méthode ». L'objectif que nous avons fixé est donc de généraliser cette création pour n'importe quelle forme géométrique définie par des coordonnées, ainsi que de permettre la création automatique et simultanée de l'intégralité des volumes composant une division.

Plusieurs facteurs rendaient l'optimisation de la solution compliquée. D'une part, la programmation visuelle de Dynamo n'est pas adaptée à ce genre d'intentions. En effet, la manipulation des nœuds, le formatage des données d'entrée et surtout l'affichage non paramétrable des informations à leur sortie sont des freins à ce développement. Il s'est avéré difficile de comprendre les résultats des tests expérimentés. D'autre part, aucune fonction native de Revit ne permettait d'enregistrer plusieurs familles simultanément afin d'éviter la répétition des manipulations.

Cette optimisation, base de mon travail de recherche, a finalement été intégrée à la seconde version de ce script, par l'intervention de nœuds où la programmation Python était possible ainsi que du package *Spring Nodes*.

Le nœud *Python Script* présente des avantages significatifs en intégrant le langage de programmation Python dans la chaîne de traitement Dynamo. Ce langage, étudié à l'école, permet d'accéder directement aux API Revit et à leurs fonctionnalités. La grande force de ce nœud réside également dans la possibilité d'une personnalisation poussée, permettant un contrôle complet sur le stockage, l'utilisation et l'affichage des données.

Cependant, il est nécessaire de s'approprier le langage Python sous Dynamo parce que la syntaxe diffère du langage standard, notamment due à l'utilisation des fonctions Revit via l'API.

Ensuite, le package *Spring Nodes*, de l'internaute Dimitar.ven, utilise les API pour accélérer le flux de travail BIM en améliorant l'interaction entre Dynamo et Revit. C'est dans cette logique que la fonction *FamilyInstance.ByGeometry* permet entre autres, l'enregistrement de plusieurs familles simultanément.

Ainsi, l'insertion du langage Python dans la chaîne de traitement ainsi que la fonction *FamilyInstance.ByGeometry* ont permis d'optimiser le processus de création de volumes et d'accroître son efficacité. Au sein du même script, nous réalisons aussi le géoréférencement du volume.

---

<sup>27</sup> Raphaël BERT, 2020. *Automatisation de la rédaction des États Descriptifs de Division en Volumes à partir de maquettes numériques*. TFE, ESGT, 66p

### ***II.2.1.1.2 Un géoréférencement direct***

Le géoréférencement des volumes est indispensable dans le processus de comparaison. Les volumes issus de l'EDDV doivent être insérés correctement dans la maquette pour pouvoir être comparés aux volumes issus de cette dernière. De manière générale, c'est une étape complexe qui donne du fil à retordre aux praticiens français. En effet, les coordonnées du système de référence français (8 millions en X et 1 million en Y) ne sont pas supportées par le logiciel Revit, étant trop éloignées du centre du repère de base (0,0,0).

Pour contrer ce problème, les utilisateurs font appel au point de base du projet en définissant ses coordonnées proches de celles du projet. Ce point permet également de « placer des objets dans le contexte du modèle »<sup>28</sup>. Cela signifie qu'il joue le rôle du point d'insertion des volumes créés via Dynamo qui devra se faire avec des coordonnées locales. Par conséquent, pour un géoréférencement direct des volumes, les coordonnées présentes dans le tableur Excel se voient retrancher la valeur de ce point et seront directement insérées à l'emplacement adéquat, avec leurs coordonnées géoréférencées. Simultanément, nous avons intégré la colorisation du solide pour une meilleure visualisation et compréhension.

### ***II.2.1.1.3 Une colorisation pour une meilleure visualisation***

La visualisation de la géométrie dans l'espace de la division en volumes n'étant pas évidente, l'utilisation de couleurs dans la maquette BIM permet de faciliter la compréhension du montage juridique. C'est dans cette logique qu'une étape du script est destinée à la colorisation des volumes. L'automatisation de cette phase a évolué et a subi des améliorations. La première solution envisagée était une fonction native du plugin Dynamo de Revit. Nous nous sommes aperçus que la fonction utilisée ne changeait la couleur du volume sélectionné que dans la vue Revit associée, et ne faisait pas référence à un paramètre de l'objet. De ce fait, lors de l'exportation, au format IFC, de la maquette vers un visualiseur en ligne, aucune couleur n'était affectée au volume. L'affectation d'une couleur sur un volume ne peut pas être pérenne dans le temps, puisque ce dernier n'affecte pas un paramètre.

---

<sup>28</sup> Notice Autodesk Revit 2023, consulté en ligne [https://help.autodesk.com/view/RVT/2023/FRA/?guid=GUID-68611F67-ED48-4659-9C3B-59C5024CE5F2]

Pour y remédier, nous avons opté pour l'application d'un matériau sur le volume. Les matériaux sont omniprésents dans les projets BIM puisqu'ils permettent de personnaliser l'affichage graphique de chaque élément de la maquette, en fonction de sa représentation

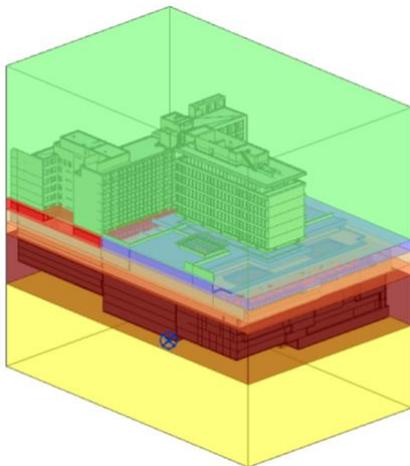


Figure 5 : Visualisation de la maquette ainsi que des volumes colorés issus de leurs descriptions faites dans l'EDDV (source personnelle).

réelle (matériaux utilisés, couleurs...). À notre égard, c'est l'aspect colorimétrique du matériau qui est intéressant. En utilisant le même nœud *FamilyInstance.ByGeometry*, nous avons attribué les matériaux aux différentes familles. Cette fonction, en plus d'enregistrer un objet en tant que famille, propose l'attribution du paramètre de matériau.

Pour l'affectation de ce paramètre sur un objet il faut l'avoir, au préalable, créé dans la famille. Dans notre cas, comme expliqué précédemment, nous avons introduit une liste de matériaux dans le gabarit de famille.

Ainsi, la création des volumes tels que définis à l'EDDV se fait de façon automatisée. L'insertion de ces familles de *Volume* coloré, dans le projet est automatique et directement géoréférencée (Figure 5).

#### II.2.1.1.4 Un renseignement sémantique totalement automatique

En plus d'être un des piliers de la démarche BIM, l'information sémantique des objets est essentielle dans la compréhension des activités de volumétrie. La possibilité d'intégration de ces informations dans la maquette constitue une opportunité de perfectionnement du processus.

L'État Descriptif de Division en volumes contient différentes informations desquelles nous avons choisi d'intégrer celles qui s'avèrent être les plus pertinentes à l'usage souhaité, à savoir :

- La numérotation du volume et de sa fraction
- La destination du volume
- La cote NGF inférieure
- La cote NGF supérieure
- Le nom du propriétaire du volume

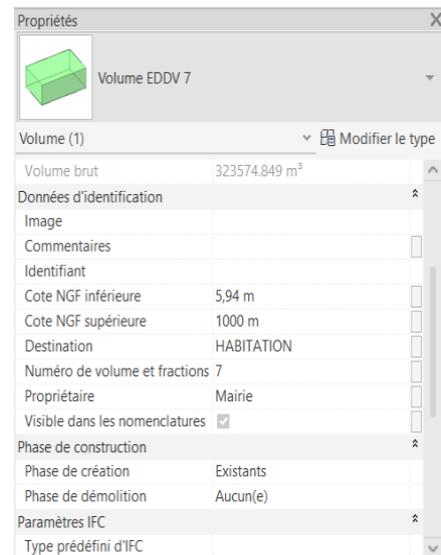


Figure 6 : Paramètres d'une famille présentant les informations sémantiques utiles à la compréhension de la division en volumes (source personnelle).

De la même manière que pour les coordonnées, les informations sont importées via la lecture du fichier Excel les contenant et doivent aussi respecter un format strict.

Grâce à la manipulation des fonctions et nœuds de Revit, le processus est entièrement automatisé (Annexe 3). Il suffit d'exécuter une seule fois le programme pour que tous les volumes se voient attribuer leurs propres informations. Le processus mis au point comporte deux étapes distinctes. La première consiste à créer le paramètre dans la famille par la fonction *Parameter.CreateProjectParameter* et la seconde est de compléter ce champ avec la valeur propre à chaque volume grâce à *Element.SetParameterByName*. Il était nécessaire de procéder à ces manipulations pour chaque volume puisque des valeurs uniques leurs sont affectées. Les paramètres renseignés sont alors visibles dans l'onglet propriété de la famille sélectionnée (Figure 6).

#### ***II.2.1.1.5 Tentative de regroupement des fractions d'un même volume***

Dans la plupart des situations, un volume est défini par plusieurs fractions de volumes. Il nous a donc semblé essentiel de trouver une solution pérenne permettant le rassemblement des fractions d'un même volume.

Au niveau de la géométrie et du renseignement sémantique, nous n'avons pas réussi à proposer une solution pérenne, malgré deux idées très différentes. La première était de joindre par *Groupe*, les fractions d'un même volume (Annexe 6). Cette fonctionnalité Revit permet de rassembler les éléments sous une même entité mais sans joindre les géométries. La principale contrainte est l'indissociabilité des éléments les uns des autres. Une fois groupés, il n'est plus possible de traiter qu'un volume seul. Il est possible d'affecter des informations sémantiques au *Groupe* mais cela engendre une perte informationnelle conséquente. En effet, même si les fractions partagent des informations semblables, certaines sont uniques comme les cotes NGF supérieure et inférieure. Il y a donc trop de contraintes pour adopter ce choix.

La seconde idée est la fusion des géométries des fractions d'un même volume, grâce à la fonction *Solid.ByUnion* (Annexe 7). D'un point de vue visuel, la compréhension est améliorée. D'un point de vue de l'information sémantique, nous sommes confrontés aux mêmes limites que le principe de *Groupe*. La fusion géométrique ne permet plus de dissocier les différentes fractions du volume qui possèdent des caractéristiques différentes. Ce choix n'est donc pas judicieux et ne s'intégrera pas dans la chaîne de traitement proposée.

Les deux premières solutions n'étant pas adaptées, nous avons choisi d'intégrer une solution alternative pour une meilleure compréhension visuelle. Nous l'avons intégré dans

l'affectation de matériaux, sous forme d'une condition, à savoir que si un volume est défini par des fractions de volume, alors le même matériau leur sera affecté. L'interprétation de la situation sera donc simplifiée.

Ainsi, nous n'avons pas trouvé de solutions dans le regroupement des fractions d'un même volume sans compromettre l'intelligibilité de la situation. Il semblerait donc que l'idée même de les regrouper ne soit pas judicieuse. Seule une unique colorisation des fractions d'un même volume est envisagée pour une visualisation et compréhension optimales.

### **II.2.1.2 Cas d'un EDDV ancien**

Comme expliqué précédemment, l'ancienneté des documents de division en volumes a pour conséquence l'absence de coordonnées décrivant la géométrie du volume ou encore de plans numériques. Seules les indications de base telles que la description sommaire des volumes et les cotes NGF auxquelles ils se réfèrent, étaient indiquées. Ce manque d'informations constitue donc une problématique centrale dans notre travail puisque notre solution imaginée s'appuie exclusivement sur la comparaison automatique de volumes, connus en coordonnées.

Pour pallier cela, une solution de reconstruction graphique peut être utilisée. Cette démarche est identique à celle révélée dans *Le cas des anciennes volumétries*. Sur un logiciel de dessin, après l'intégration du plan numérisé, mis à l'échelle et géoréférencé, il suffit de déterminer les coordonnées planimétriques des sommets, constituant l'emprise de chaque volume et de les renseigner dûment dans le fichier Excel prévu à cet effet. Ce dernier contient les mêmes informations que dans le cas d'une volumétrie moderne.

Ainsi, pour les anciennes volumétries une étape préliminaire de reconstruction graphique doit être réalisée. Avec la détermination des coordonnées de sommets de chaque volume dans le fichier Excel, la méthodologie mise en place peut s'appliquer également aux anciennes divisions.

### **II.2.2 L'extraction des volumes à partir de la maquette**

La maquette numérique est la représentation de l'existant. Il faut donc trouver un moyen de confirmer, ou pas, l'inscription des constructions des volumes tels que définis à l'EDDV. Pour pouvoir définir une stratégie efficace, il faut se questionner sur la façon dont la comparaison et le calcul des écarts pourront être réalisés. En effet, après avoir créé les

volumes résultant de la description de l'EDVV, quelle méthode pourra être mise en place pour permettre l'automatisation des calculs d'erreur ?

Deux idées principales ont émergé. La première consistait à l'écriture d'une méthode qui déterminerait la géométrie la plus proche du volume construit. Les coordonnées des sommets de la géométrie choisie seraient ensuite comparées à celle du volume correspondant. Théoriquement, cette conception est idéale puisqu'elle se base directement sur les éléments modélisés, sans passer par l'intermédiaire de nouvelles manipulations et répond aux objectifs fixés. Cependant, dans la pratique, sa mise en place semblait compliquée. Il existe des situations où l'élément le plus proche détecté ne sera pas exactement l'élément souhaité. Ce phénomène engendrerait une erreur dans le déroulé du processus. Cette hypothèse s'est donc avérée non adaptée due à la complexité de l'opération et a remis en question notre vision.

De manière générale, la meilleure façon de comparer deux entités est que ces dernières partagent les mêmes propriétés et idéalement soient sous la même forme. C'est ainsi que la seconde idée, plus réaliste, est née. La seconde idée consiste à créer un second type de volumes à partir de surfaces définies préalablement par l'opérateur, représentant l'emprise des constructions sur la maquette. Le volume sera créé depuis une emprise qui sera la traduction littérale de l'emprise planimétrique du volume telle qu'elle est définie à l'EDDV. Avec l'expérience déjà acquise sur le logiciel, la fonction native Revit « Pièces » paraissait correspondre aux différentes attentes puisqu'elle permet de délimiter une emprise de façon simple et semi-automatique, en utilisant les murs comme délimitation. Raphaël BERT l'avait sollicitée dans son travail de recherche<sup>29</sup>.

Malheureusement, l'utilisation de cette dernière pour notre cas ne s'est pas avérée pratique. Comme expliqué précédemment, les équipes de BIM modelleurs confectionnent les maquettes en respectant un cahier des charges précis. Dans ce dernier, il est exigé de procéder à la dénomination des pièces avec la fonction associée. Ceci pose un problème majeur lors de la sélection de ces emprises pour leur transformation en volumes (II.2.2.2). En effet, vu la volonté d'automatiser le processus, il est impossible de pouvoir distinguer ceux demandés par les collaborateurs de ceux conçus spécifiquement pour la vérification de l'inscription des volumes.

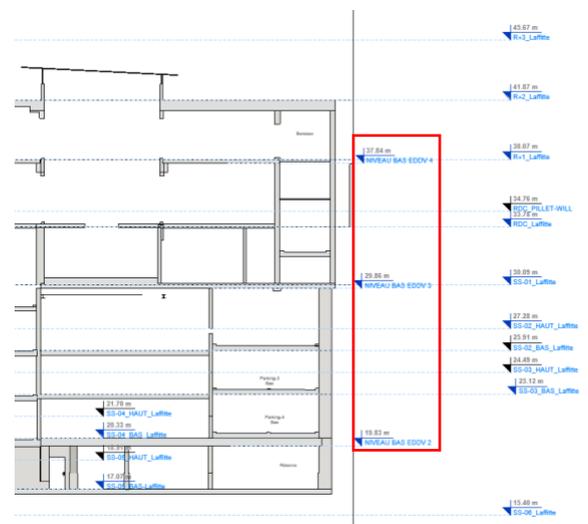
---

<sup>29</sup> Raphaël BERT, 2020. *Automatisation de la rédaction des États Descriptifs de Division en Volumes à partir de maquettes numériques*. TFE, ESGT, page 16

Une seconde fonction native de Revit semblait avoir des caractéristiques intéressantes et similaires à celle de *Pièce*. Contrairement à *Pièce*, il est possible de créer une catégorie de *Plan de surface* personnalisée. Leur sélection dans l'étape suivante sera donc facilitée. Habituellement utilisée par les collaborateurs de Gexpertise pour le calcul des surfaces d'un bâtiment (SDP ou SHON par exemple), *Plan de surface* utilise des emprises parfaitement modelables et personnalisables. Cette liberté sur les limites nous permet d'utiliser cette fonction d'une manière originale, et différente de celle imaginée par les développeurs du logiciel.

### II.2.2.1 L'utilisation des Niveaux Revit pour le positionnement altimétrique

Le positionnement altimétrique du volume est le premier aspect à prendre en compte. En effet, dans le script Dynamo «04- Final », la fonction d'extrusion utilisée pour passer d'une emprise à un volume *Extrude.BySolid*, intègre par défaut, le volume dans le projet à la hauteur du niveau de la coupe où a été effectuée la délimitation. Il faut donc s'assurer de l'existence de *Niveaux Revit* aux altitudes voulues, telles qu'elles ont été décrites à l'EDDV (Figure 7).



Il est fortement conseillé de les créer soi-même car les niveaux élaborés par les BIM Modeleurs sont associés à la hauteur du plancher et ne définissent pas forcément celles issues de l'EDDV qui sont généralement définies comme la « sous face inférieure de la dalle de plancher haut ... ».

Figure 7 : Niveaux Revit utilisés pour placer altimétriquement les volumes issus de la maquette (source personnelle).

L'extrusion de ces surfaces en volumes est semi-automatique puisqu'avant de lancer l'exécution du script, l'opérateur doit seulement renseigner la hauteur d'extrusion. Elle ne peut s'effectuer que dans une direction unique, selon l'axe Z. Cette valeur représente la hauteur du volume, qui se définit par la distance entre la hauteur du plan d'extrusion de la surface et sa limite verticale supérieure (valeur de la cote supérieure NGF). Il peut retrouver cette information sur un plan de coupe en effectuant une différence d'altitude entre le niveau N+1 et le niveau N.

### II.2.2.2 Le positionnement planimétrique par dessin d'emprises des volumes

Ensuite, la délimitation planimétrique des volumes nécessite une intervention humaine rigoureuse. L'utilisateur doit délimiter les volumes en planimétrie un par un en dessinant leurs emprises suivant la description sommaire formulée dans l'EDDV. Cette délimitation doit être effectuée à la vue de coupe ayant comme hauteur, la face inférieure du volume. Il doit donc retranscrire littéralement les emprises planimétriques des volumes faites à l'EDDV (Figure 8). Par exemple, les limites peuvent s'apparenter au « nu ou parement extérieur des murs, ceux-ci étant inclus ».

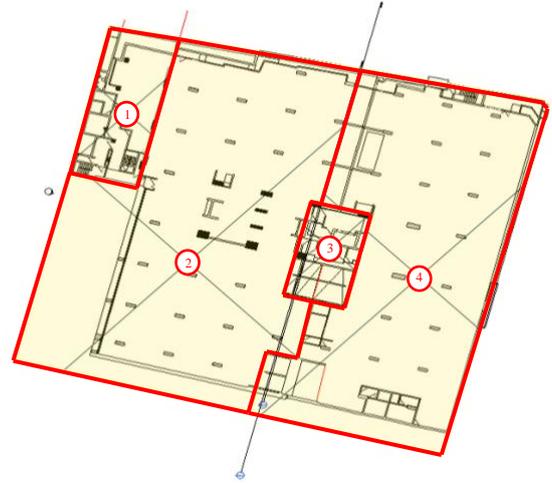


Figure 8 : Délimitation des emprises des volumes à partir des constructions de la maquette numérique (source personnelle).

L'ordre dans lequel les surfaces sont dessinées est capital pour le bon déroulement de l'automatisation de la méthodologie. C'est l'une des prérogatives essentielles que doit respecter l'opérateur dans ses actions pour mener à bien le travail. Il doit dessiner les emprises, une par une, en suivant l'ordre défini par l'EDDV. Cela signifie qu'il faut naturellement commencer par dessiner l'emprise du Volume 1, puis le Volume 2, etc. ... en suivant logiquement cette numérotation. L'extrusion des volumes donne naissance à des objets de type Volume Solid. En les enregistrant également sous forme de famille avec la fonction *FamilyInstance.ByGeometry* du package *Spring Nodes*, nous nous assurons de l'équivalence et de la compatibilité des deux entités à comparer.

Ainsi, cette méthode utilise la maquette numérique comme outil de création des volumes tel que la fonction *Plan de surface*. L'ordre dans lequel les emprises sont dessinées doit obligatoirement suivre l'ordre défini dans l'EDDV (d'abord Volume 1, puis Volume 2 etc. ...). Au préalable, il faut s'assurer de l'existence de niveaux pour placer altimétriquement les volumes, où chacun d'entre eux représente une famille.

### II.2.3 La procédure de comparaison

Le principe du contrôle d'inscription en volumétrie réside dans la comparaison du positionnement du volume relevé contenant les constructions, avec celui décrit dans l'EDDV. Nous avons choisi de la représenter par une différence de coordonnées entre les deux entités afin d'obtenir des écarts exploitables. De plus, il nous semblait important de

pouvoir afficher ces écarts afin d'avoir une représentation visuelle du résultat. Le développement d'un script Dynamo a donc été imaginé pour traduire, en langage de programmation, cette idée. Il calcule, volume par volume, les différences de coordonnées présentes entre les deux entités en créant un fichier Excel, et propose une visualisation de ces écarts directement sur la maquette.

### **II.2.3.1 Le calcul des écarts**

Initialement, toutes les manipulations présentées permettaient de contrôler les écarts sur un seul volume. Cette approche est efficace, car dans certains cas, le contrôle s'effectue sur l'inscription d'un seul volume. Néanmoins, nous avons intégré l'optimisation de la procédure avec des améliorations qui ont fait évoluer la pratique et qui ont permis de faire ce contrôle sur l'intégralité des volumes composant une volumétrie, d'une seule traite.

Cette procédure de calcul s'articule autour de trois grands axes.

#### ***II.2.3.1.1 La construction des volumes issus de la maquette***

La première action consiste à sélectionner le volume souhaité, traduisant l'emprise des constructions, en le choisissant directement dans l'interface Revit. Nous avons mis en place un enchaînement de nœuds Dynamo et de script Python permettant, depuis une géométrie, de remonter jusqu'aux coordonnées des sommets du volume (Annexe 4 – Première partie 2). Le but étant donc de les avoir dans le même format que ceux décrits dans l'EDDV (Figure 9).

Depuis l'objet sélectionné, la fonction native *Topology.Vertices* permet de récupérer les coordonnées des sommets de ce dernier. Cependant, nous avons été confrontés à une limite de programmation de cette fonction. En effet, elle permettait de le faire mais renvoyait les coordonnées de façon aléatoire. C'est-à-dire que pour les bases opposées (les faces supérieure et inférieure), l'ordre des sommets en sortie du nœud n'était pas le même mais surtout présentait un caractère hasardeux et incertain. Il était impossible d'anticiper la disposition de ces sommets et donc de trouver une solution pour harmoniser nos données de sortie.

Nous avons donc été contraints de trouver une solution alternative, qui débute par la décomposition de l'objet géométrique choisi en *Faces*. Depuis ces *Faces*, par la fonction *Face.Vertices*, l'obtention des coordonnées de « tous les sommets autour de cette

face dans le sens trigonométrique »<sup>30</sup> est possible. Dans notre situation, afin d'assurer l'homogénéité des données, nous souhaitons utiliser les coordonnées ayant une composante altimétrique constante, donc des sommets définis dans un même plan horizontal. Seules les faces supérieures et inférieures du volume sont donc souhaitées. Une nouvelle fois, nous avons été confrontés à une limite de programmation de cette fonction native de Dynamo. En effet, la fonction trie et classe bien les coordonnées des sommets dans l'ordre trigonométrique mais en prenant, encore une fois, le premier point de façon aléatoire. C'est-à-dire que lors de la répétition du nœud dans les mêmes conditions, le premier sommet dans la liste des coordonnées est différent.

Pour régler ce problème, nous avons fait appel à un nœud Python dans lequel nous avons programmé un script réorganisant la liste d'entrée. En entrée, ce code nécessite seulement la liste de coordonnées des sommets du volume issue de la fonction *Face.Vertices*. Il la parcourt et choisit le point ayant les composantes X et Y les plus faibles. Ce sommet sélectionné sera fixé comme le premier du volume et est introduit, en première position, dans la liste de sortie. Nous allons ensuite simplement parcourir la liste d'entrée à partir de l'index du premier point et ainsi compléter la liste de sortie.

Deux cas se présentent à nous :

- Soit l'index de la coordonnée la plus faible est égal à 0 (donc ce sommet a déjà les coordonnées X et Y les plus faibles) : alors la boucle prend l'intégralité des sommets et les rajoute dans la liste de sortie.
- Soit l'index de la coordonnée la plus faible est égal à n : alors la boucle ne prend que les coordonnées des sommets d'index n jusqu'à la fin de la liste. Donc, une seconde boucle doit être créée afin de prendre les sommets d'index 0 jusqu'à l'index n.

Nous n'appliquons ce procédé de tri qu'aux sommets de la face inférieure. Pour que l'ordre des sommets de la face supérieure soit le même, nous copions la première liste triée et remplaçons seulement la composante altimétrique par la valeur de Z de la base supérieure. Par ce processus, la liste de sortie possède la même hiérarchie et le même format que celle issus du fichier Excel. Les deux entités disposent donc du même format et pourront donc être utilisées pour être comparées.

---

<sup>30</sup> Description de la fonction *Face.Vertices* présente dans Dynamo, version 2.19.3, 2023

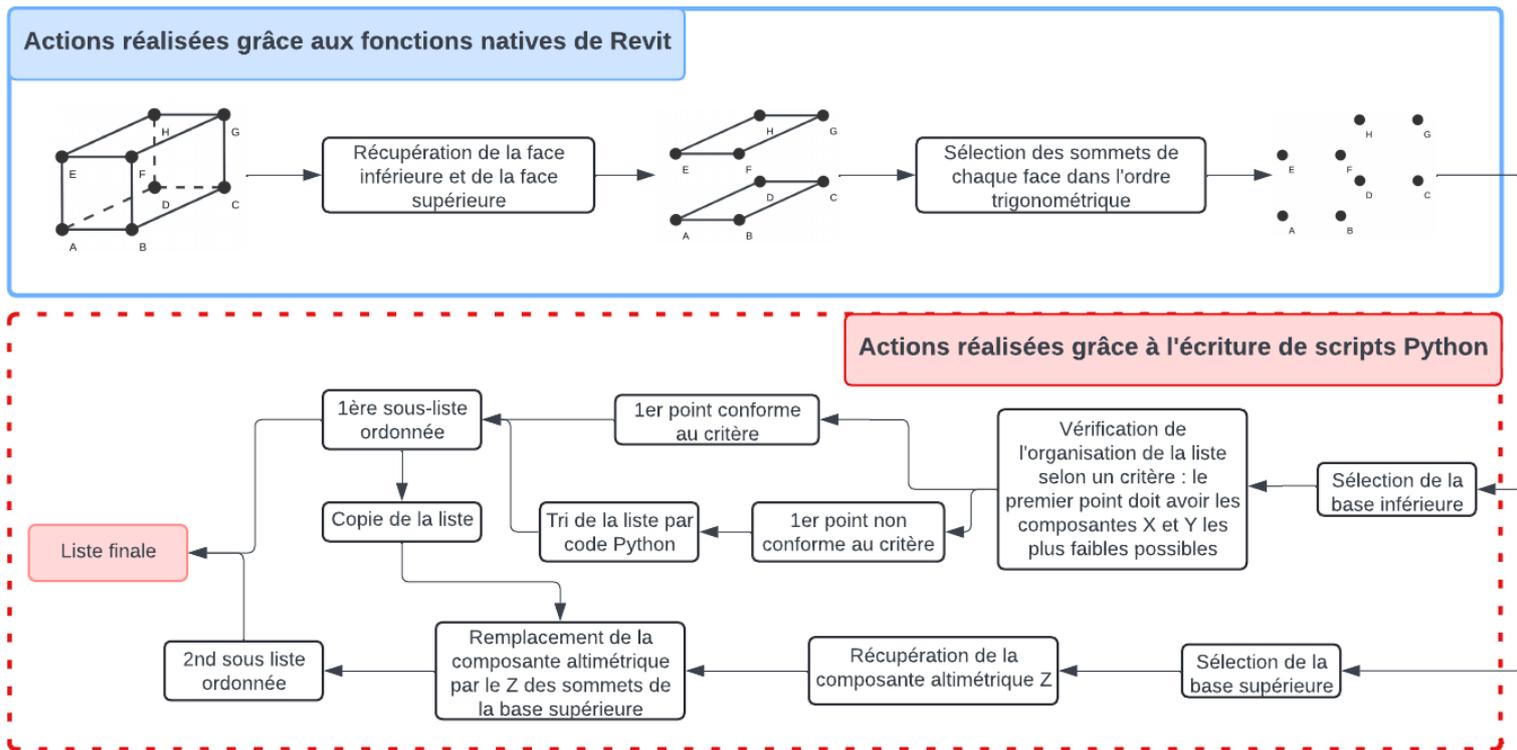


Figure 9 : Processus automatisé pour obtenir les coordonnées des sommets des volumes issus de la maquette (source personnelle).

Ainsi, nous avons mis en place une méthode permettant de transformer une géométrie en listes de coordonnées. Dans chacun des cas, la liste de sortie comporte l'intégralité des coordonnées des sommets du volume, classées selon différents critères (ordre trigonométrique, premier point de la liste avec les composantes X et Y les plus faibles, coordonnées de la base inférieure puis base supérieure).

### II.2.3.1.2 La sélection du volume théorique de l'EDDV

Dans un second temps, il est nécessaire de choisir le volume associé, mais cette fois-ci issu de l'EDDV, et récupérer ses coordonnées, sous forme de liste également.

Pour un volume seulement, une requête attributaire nous permet de sélectionner la feuille de calcul du volume souhaité depuis le fichier Excel, contrairement au cas où tous les volumes sont contrôlés, l'intégralité des feuilles de calculs sont prises en compte (Annexe 4 – Première partie 1).

Pour former la liste, nous avons fait le choix d'utiliser les coordonnées issues du fichier Excel plutôt que d'effectuer la même transformation de la géométrie de l'objet en liste. Nous l'expliquons par la simple raison que si une erreur a été effectuée lors d'actions antérieures, comme l'import dans la maquette ou le géoréférencement par exemple, nous ne souhaitons pas que cette dernière impacte les résultats finaux.

Ainsi, pour les volumes issus de l'EDDV, les données brutes sont directement prises afin d'éviter la génération d'erreurs pouvant intervenir dans les étapes antérieures du processus.

### II.2.3.1.3 La différence entre deux concepts identiques

Enfin, l'étape de calcul consiste simplement à effectuer une différence de coordonnées entre les deux listes précédemment créées (Annexe 4 – Deuxième partie). L'affichage et la lecture des résultats sont possibles par l'export des données sur un nouveau fichier Excel, grâce au nœud *Data.ExportToExcel*. Lors d'une comparaison d'un seul volume, une seule feuille de calcul est générée. Pour l'automatisation de cette étape et le calcul automatique pour l'ensemble des volumes d'une volumétrie, le formatage des données d'entrée est essentiel. En effet, comme pour l'ensemble des programmes générés pour l'automatisation, la hiérarchie des listes est un aspect fondamental. Selon la disposition des données dans la liste d'entrée, la fonction générera un fichier de façon aberrante, impossible à comprendre.

Ce fichier se structure sommairement, faisant apparaître les résultats de façon épurée. La première colonne intègre le décalage entre les coordonnées X  $\Delta X$ , la deuxième le décalage entre les coordonnées Y  $\Delta Y$  et la troisième le décalage entre les coordonnées Z  $\Delta Z$ , exprimées en mètre. Enfin, la dernière colonne met en évidence l'écart planimétrique 2D entre le point théorique et le point réel (Figure 10).

Sommet	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)	Distance 2D (m)
A	-0,014	0,009	0,013	0,017
B	0,003	0,006	0,013	0,007
C	0,021	0,005	0,013	0,022
D	-0,034	-0,004	0,013	0,034
E	0,023	0,068	0,013	0,072
F	-0,030	-0,001	0,013	0,030
G	-0,004	0,028	0,019	0,028
H	0,003	0,051	0,019	0,051
I	0,027	0,063	0,019	0,069
J	0,000	-0,032	0,019	0,032
K	0,062	0,004	0,019	0,062
L	-0,003	-0,030	0,019	0,030

Figure 10 : Fichier Excel des résultats obtenus. Les écarts présents doivent être interprétés et analysés par un Géomètre-Expert (source personnelle).

Si le delta est négatif (ou égal à 0), cela signifie que les constructions sont inscrites dans son volume théorique. Cependant, si le résultat de la différence de coordonnées est positif, alors cela signifie qu'à la composante évoquée à ce sommet, le volume traduisant l'emprise des constructions dépasse du volume juridique issu de l'EDDV. En d'autres termes, à ce sommet et pour cette composante, la non-inscription des constructions dans l'emprise théorique du volume est avérée. Une analyse des autres composantes est obligatoire pour confirmer la non-inscription complète des constructions dans leurs volumes théoriques.

Comme pour le cas d'un contrôle effectué en 2D, les résultats nécessitent une analyse de la part du Géomètre-Expert. Les écarts présents dans le fichier Excel doivent être

interprétés en tenant compte des différentes techniques utilisées lors du processus. Des approximations de modélisation ont pu être faites et doivent être prises en compte l'interprétation des résultats. Seuls les écarts significatifs sont considérés comme des anomalies. Pour une compréhension plus visuelle, les écarts obtenus peuvent être représentés directement sur la maquette.

### II.2.3.2 La visualisation des écarts

C'est dans une optique de compréhension visuelle que les écarts constatés lors du contrôle sont importants à mettre en évidence. Pour exposer les incohérences relevées, nous avons estimé que deux méthodes répondaient à cette démarche.

La première était de représenter la distance entre les sommets des deux différents volumes par un vecteur. Cette idée avait l'avantage de montrer la direction dans laquelle se trouvait la différence entre les sommets et de ne pas surcharger d'informations la maquette. Cependant, cette visualisation ne peut s'effectuer qu'au niveau des sommets des volumes. C'est un inconvénient principal parce qu'il ne permet pas de représenter les erreurs sur la géométrie de l'objet, le long d'une face du volume par exemple.

La seconde idée, quant à elle permet cette représentation de l'erreur sur l'ensemble de la géométrie, en réalisant une différence entre les deux entités. Cette différence s'effectue avec comme référence les volumes ayant comme emprises les constructions, auxquels nous retranchons les volumes juridiques de l'EDDV. La différence est réalisée dans ce sens pour mettre en évidence les « morceaux » du volume issus des constructions qui dépassent de son emprise théorique (Annexe 5). L'objet résultant est de type *Solid*, comme différence d'objets géométriques. Ces résidus sont enregistrés comme des familles, avec la fonction *Instance.ByFamily* introduite précédemment, auxquelles nous appliquons un matériau de couleur rouge. Cette couleur nous a semblé suffisante pour identifier facilement et visuellement l'écart (Figure 11).

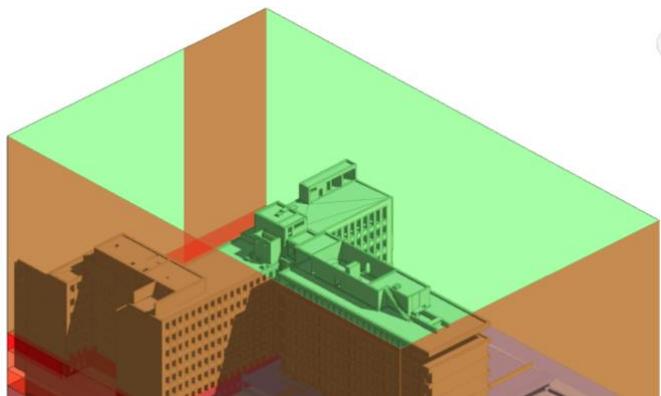


Figure 11 : Visualisation des écarts sur la maquette grâce aux « Morceaux » de couleur rouge (source personnelle).

Ainsi, la solution mise en place permet de faciliter le contrôle d'inscription d'une construction dans son emprise. Elle se décompose en plusieurs étapes succinctes qu'il faut opérer avec ordre et précision. La méthode offre des résultats quantitatifs au GE, qui devra

les analyser pour formuler les conclusions adéquates à la situation. La visualisation de ces erreurs est un avantage dans la compréhension de la conformité du régime mis en place.

### **II.3 Les limites de la méthode**

La mise en place de cet outil s'est avérée efficace puisqu'il permet de répondre, en grande partie, à la problématique posée. Cependant, cette méthode présente certaines limites.

Dans un premier temps, comme l'a déjà fait remarquer Simon COUSSEAU, lors de l'exportation des familles de volumes au format IFC, les nouveaux paramètres attachés ne sont pas visibles. L'absence de ces paramètres est préjudiciable dans le cas où la maquette a été livrée au client et que ce dernier tente de regarder le contrôle de volumétrie sur un visualiseur en ligne, n'ayant pas la possibilité d'avoir accès au logiciel Revit (licence payante).

De plus, l'automatisation complète du processus de contrôle d'inscription des constructions dans leurs emprises soulève de nombreuses contraintes, notamment sur la forme des données d'entrée. En effet, pour un fonctionnement absolu de la solution, il est nécessaire que les données d'entrée soient correctement formatées par l'opérateur. La rigueur de saisie des données est très contraignante puisque cette étape est à la fois chronophage et répétitive. Il faut s'assurer de l'exactitude de l'ensemble des données avant de pouvoir démarrer l'exécution de la méthode. Cependant, cela ne doit pas constituer un frein puisque cette rigueur est une qualité essentielle dont le Géomètre-Expert doit faire preuve quotidiennement dans son activité.

Ensuite, nous avons relevé, avec les collaborateurs du pôle Géotop chargés régulièrement de ce type de missions, deux points spécifiques où la méthodologie ne fonctionne pas entièrement.

La première situation intervient lorsque les deux volumes à comparer sont différents géométriquement. Ce genre de problématique surgit lorsque le bâtiment subit des modifications géométriques importantes et qu'une modification de l'EDDV n'a pas été écrite. Cela peut être le cas lors de la construction d'extensions de bâtiments, qui viennent changer et complexifier l'emprise de la construction. Ce volume aura une forme différente de celui associé, décrit dans l'EDDV et ne partagera plus les mêmes caractéristiques géométriques. Le nombre de sommets sera donc différent et le calcul des écarts impossible. En effet, le volume issu de la maquette devra prendre en compte ces changements, qui

entraîneront une augmentation du nombre de segments formant l’emprise et par conséquent, une augmentation du nombre de sommets (Figure 12).

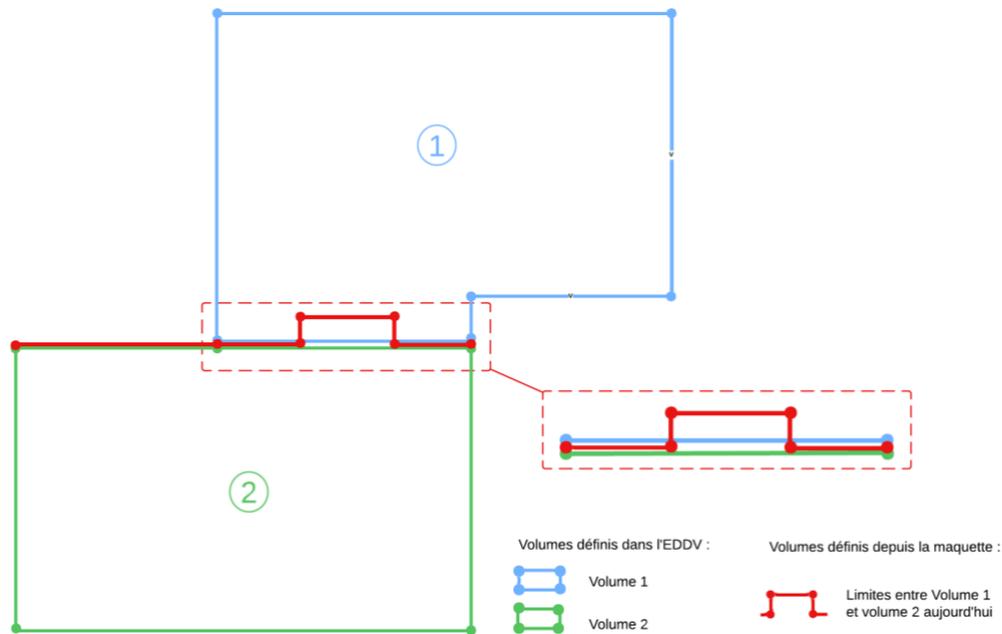


Figure 12 : Situation dans laquelle la géométrie du volume défini dans l'EDDV est différente de celle présente dans la maquette, rendant le calcul des écarts aux sommets impossible (source personnelle).

Comme la méthode se base sur une comparaison des coordonnées des sommets des volumes, le programme sera dans l'impossibilité de comparer des entités incomparables. Le seul moyen de prendre en compte cette spécificité, est de prévenir l'opérateur en intégrant dans le code python, un message d'attention signalant que le nombre de sommets des deux volumes qu'il tente de comparer, ne sont pas égaux. Il n'y aura donc pas la création du fichier de résultats permettant de quantifier et de qualifier la bonne inscription des constructions dans le volume juridique. Toutefois, la visualisation sera opérationnelle puisqu'elle ne dépend que de la géométrie, non impactée, des volumes. Il sera toujours possible de procéder à un contrôle comparable à celui réalisé actuellement en manipulant les plans d'étages et les coupes sur une maquette et non plus sur des plans (Figure 13).

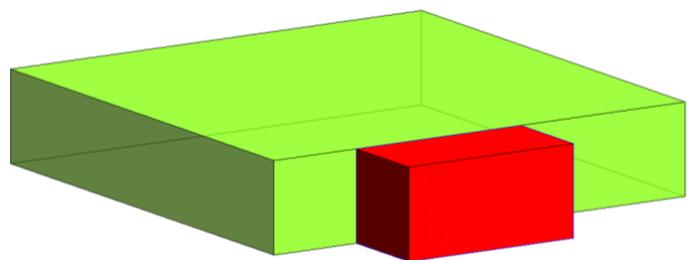


Figure 13 : Visualisation du "morceau" de construction débordant de son volume théorique (source personnelle).

La seconde situation survient lorsque des volumes spécifiques, se trouvant sous les rampes d'accès au parking souterrain, existent. Leur particularité réside dans leurs formes, puisque les bases inférieures et supérieures ne sont pas identiques. Leurs formes géométriques sont différentes et lorsque l'on extrude, le volume épouse la pente de la rampe et forme donc un tronc de pyramide rectangulaire (Figure 14). Dans ce cas, la base inférieure est un rectangle quelconque tandis que la face opposée n'existe pas, elle prend seulement la forme d'une arête.

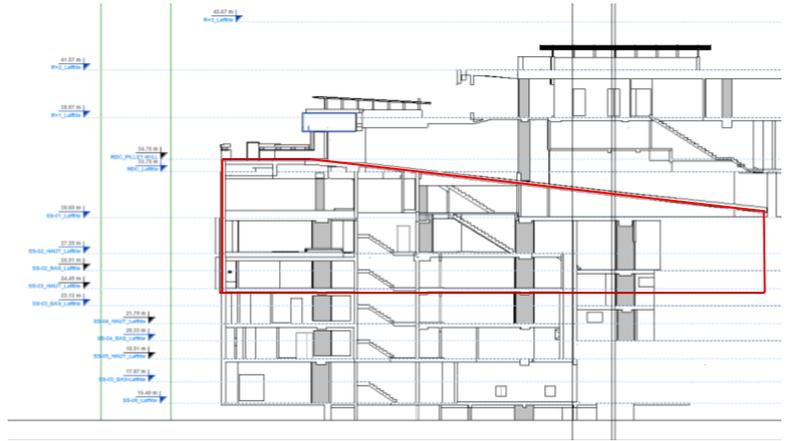


Figure 14 : Volume spécifique sous une rampe d'accès aux étages souterrains pouvant intervenir dans une division en volumes (source personnelle).

Cette construction est possible lorsque les coordonnées sont issues de la description de l'EDDV, grâce aux fonctions Revit utilisées. Cependant, celles employées pour former les volumes résultant de la maquette ne pourront pas la réaliser. En effet, ce processus de création, précédemment expliqué, fait intervenir une extrusion à partir d'une emprise. Cela signifie que la base inférieure et la base supérieure sont forcément parallèles et identiques, ce qui est faux dans ce cas. Les deux géométries sont complètement différentes et il est inutile de les utiliser pour effectuer la comparaison. Nous savons pertinemment que l'exécution de la méthode pour ce volume sera un échec.

Deux choix s'offrent à l'opérateur pour, tout de même, vérifier la bonne inscription de cette construction dans son volume théorique. Il pourra faire une vérification manuelle planimétrique puis altimétrique, comme celle appliquée aujourd'hui en 2D. Sinon, s'il a des appétences pour la manipulation Revit et Dynamo, il pourra tenter de créer ce volume en utilisant les coordonnées des sommets qu'il aura lui-même été chercher dans la maquette. Il pourra aussi essayer de rendre des données compatibles avec les autres (nom, classements dans les listes...) pour continuer la chaîne de traitement.

Enfin, les défauts évoqués ici sont principalement dus aux limites de Revit. Ce logiciel n'est pas un réel outil de développement et n'est pas adapté afin de réaliser ce genre de tâches. Les fonctions disponibles grâce aux APIs n'intègrent pas une diversité de fonctionnalité assez large et restreignent les actions possibles.

## Conclusion

Ainsi, la maquette numérique, produit du processus BIM, est un outil amené à devenir incontournable dans le domaine de la construction. Le Géomètre-Expert devrait adapter son activité pour l'ajouter à son domaine de compétence. Une partie de sa contribution dans le processus consiste à l'intégration des données juridiques, dans la maquette, dont le contrôle volumétrique.

Le processus imaginé met un point d'honneur sur l'optimisation de la méthode, via le plugin Dynamo de Revit, qui est un aspect fondamental permettant de diminuer le temps de traitement et de limiter les erreurs humaines. Il s'appuie sur l'automatisation de la comparaison entre les données issues de l'EDDV, représentant les volumes juridiques et de celles issues de la maquette, avatar de la construction réelle. Les résultats obtenus permettent au Géomètre-Expert d'avoir des écarts quantitatifs, entre les sommets de la construction et les sommets de son emprise théorique. Il devra les analyser, les interpréter et les mettre en relation avec les résultats visuels, qui permettent de représenter les emprises des constructions qui ne s'inscrivent pas dans leurs volumes théoriques, sous forme d'objets géométriques.

Cependant, la méthodologie mise en place présente des limites. Elle nécessite l'intervention d'un technicien rigoureux et compétent dans la manipulation du logiciel Revit pour effectuer des tâches logiques, précises et répétitives, pouvant amener à des erreurs. Finalement, la méthode imaginée nécessite toujours une intervention humaine, mais a réussi à réduire son implication. De plus, elle n'est pas facilement adaptable à certaines situations avec des volumes « complexes ». Les fonctions natives de Revit sont limitées et ne permettent pas de traiter ce genre de situation. Le codage d'une nouvelle chaîne de traitement par le codage Python serait une solution envisageable pour traiter et automatiser ces cas. Cette limitation souligne le fait que le logiciel Revit est restrictif et n'est pas optimal pour tenter de réaliser l'intégralité de la procédure de contrôle. Il serait alors intéressant de proposer des perspectives d'amélioration, qui pourront être réalisées avec d'autres outils de développement, mieux adaptés. Nous faisons référence ici à un processus comme FME, qui se baserait sur une méthodologie semblable à celle déjà opérationnelle au sein de Gexpertise. Les résultats obtenus pourraient être améliorés en intégrant les écarts sur une face d'un volume et non plus seulement sur ses sommets. Ces distances permettraient d'avoir un regard plus global sur la situation et de déterminer sans ambiguïté l'inscription, ou non des constructions dans leurs emprises théoriques.

# Bibliographie

## Ouvrages imprimés

- DROUANT Philippe, Débuter avec Autodesk® Dynamo®: Dynamo Sandbox® et Dynamo for Revit®, 2023, Le Moniteur, 432 pages
- RICHARD David, Le droit des BIM, 2020, LexisNexis, 248 pages

## Études dans des encyclopédies juridiques

- SAVATIER René, *Vers de nouveaux aspects de la conception et de la classification juridique des biens corporels*, RTD Civ., 1958
- Daniel SIZAIRE, *Division en volumes et copropriété des immeubles bâtis*, JCP 1988

## Mémoires et travaux de fin d'études

- BERT Raphaël, 2020, *Automatisation de la rédaction des États Descriptifs de Division en Volumes à partir de maquettes numériques*, Mémoire ingénieur ESGT, Le Mans, 66p
- COUSSEAU Simon, 2019, *Intégration des données d'une division en volumes dans une maquette numérique*, Mémoire ingénieur ESGT, Le Mans, 81p
- LAURENCIN Maud, 2017, *L'intégration des données complémentaires (données foncières, divisions en volumes, environnement) au sein d'une maquette numérique au format Revit*, Mémoire ingénieur ESGT, Le Mans, 65p.

## Documents institutionnels

- ORDRE DES GÉOMÈTRES-EXPERTS, Commission Immobilier, Repères-Experts, 2012. *La Division en Volume*, 88p

## Colloque

- NMW AVOCAT, *La Défense : les spécificités juridiques*, 6ème Colloque Sorbonne Immo, Paris, 3 octobre 2012

## Communiqué de presse

- ORDRE DES GÉOMÈTRES-EXPERTS, Communiqué de presse du 13/12/22, *L'OGÉ soutient la certification des compétences OpenBIM et les formation labellisée par buildingSMART France*

## Dispositions législatives et réglementaires Codes Civil

## Lois

- Loi n° 46-942 du 7 mai 1946 instituant l'Ordre des Géomètres-Experts
- Loi n° 65-557 du 10 juillet 1965 fixant le statut de la copropriété des immeubles bâtis
- Loi n° 2018-1021 du 23 novembre 2018 portant Évolution du Logement, de l'Aménagement et du Numérique (ELAN)
- Loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets (Résilience)

## Ordonnance

- Ordonnance n° 2019-1101 du 30 octobre 2019 portant réforme du droit de la copropriété des immeubles bâtis

## Webographie

- ORDRE DES GÉOMÈTRES-EXPERTS, *Assise Nationale de la Sobriété Foncière* [en ligne], [consulté le 24/06/2024], disponible sur : [www.lesassisesnationalesdelasobrietefonciere.fr](http://www.lesassisesnationalesdelasobrietefonciere.fr)
- Gexpertise, *Webinaire Gexpertise : La surélévation, comment exploiter le potentiel caché de votre bâtiment ?* [en ligne], [consulté le 24/06/2024], disponible sur : [www.gexpertise.fr/post/webinaire-gexpertise-la-surelevation-comment-exploiter-le-potentiel-cache-de-votre-batiment](http://www.gexpertise.fr/post/webinaire-gexpertise-la-surelevation-comment-exploiter-le-potentiel-cache-de-votre-batiment)
- Notice Autodesk Revit 2023, *Point de base du projet et point de topographie*, [en ligne] [consulté le 12/03/2024], disponible sur : <https://help.autodesk.com/view/RVT/2023/FRA/?guid=GUID-68611F67-ED48-4659-9C3B-59C5024CE5F2>
- Dictionnaire Petit Robert en ligne, [en ligne], [consulté le 25/06/2024], disponible sur : <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/package>

## Liste des figures

Figure 1 : Différence de LoD sur un même objet (source : Académie de Nantes).....	11
Figure 2 : Schéma récapitulatif de la procédure actuelle employée pour effectuer le contrôle d'inscription des constructions dans les volumes (source personnelle).....	16
Figure 3 : Exemple d'une maquette numérique produite au sein du cabinet (source personnelle) ...	17
Figure 4 : Étapes nécessaires dans la construction d'un volume issu de sa description par les coordonnées depuis l'EDDV (source personnelle).....	21
Figure 5 : Visualisation de la maquette ainsi que des volumes colorés issus de leurs descriptions faites dans l'EDDV (source personnelle). ....	24
Figure 6 : Paramètres d'une famille présentant les informations sémantiques utiles à la compréhension de la division en volumes (source personnelle). ....	24
Figure 7 : Niveaux Revit utilisés pour placer altimétriquement les volumes issus de la maquette (source personnelle). ....	28
Figure 8 : Délimitation des emprises des volumes à partir des constructions de la maquette numérique (source personnelle). ....	29
Figure 9 : Processus automatisé pour obtenir les coordonnées des sommets des volumes issus de la maquette (source personnelle).....	32
Figure 10 : Fichier Excel des résultats obtenus. Les écarts présents doivent être interprétés et analysés par un Géomètre-Expert (source personnelle).....	33
Figure 11 : Visualisation des écarts sur la maquette grâce aux « Morceaux » de couleur rouge (source personnelle). ....	34
Figure 12 : Situation dans laquelle la géométrie du volume défini dans l'EDDV est différente de celle présente dans la maquette, rendant le calcul des écarts aux sommets impossible (source personnelle). ....	36
Figure 13 : Visualisation du "morceau" de construction débordant de son volume théorique (source personnelle). ....	36
Figure 14 : Volume spécifique sous une rampe d'accès aux étages souterrains pouvant intervenir dans une division en volumes (source personnelle). ....	37

## Table des annexes

Annexe 1 Manipulations requises pour la mise en œuvre de la méthodologie.....	42
Annexe 2 Script Dynamo sur la création des volumes à partir des coordonnées des sommets des volumes 01- <i>Volume</i> .....	49
Annexe 3 Script sur le renseignement sémantique des volumes 03- <i>Information</i> .....	51
Annexe 4 Script sur la transformation des emprises en volumes de la maquette et du calcul des écarts 04- <i>Final</i> .....	54
Annexe 5 Script sur la création des « Morceaux » pour une meilleure visualisation 05- <i>Geom</i> .....	58
Annexe 6 Script sur la tentative n°1 de regroupement de volumes 02- <i>Groupe</i> .....	59
Annexe 7 Script sur la tentative n°2 de regroupement de volumes 07- <i>test_joined</i> .....	60



## Réglages à vérifier à l'ouverture du logiciel

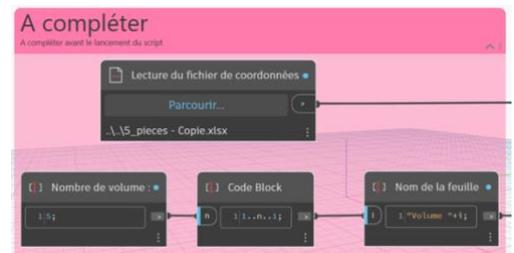
- Ouverture du logiciel Revit
- Ouverture du projet souhaité
- Vérification de l'unité de **Longueur** :
  - Onglet Gérer :  le mètre doit être utilisé
- Ouvrir l'interface de paramètres graphiques en utilisant le raccourci VV
  - Dans l'onglet **Catégories de modèles**
    - Dans le paragraphe **Site**
      - **Valider** la visualisation du **Point de base du projet**
      - **Appliquer** puis **valider** avant fermeture de la fenêtre. Le point de base du projet doit apparaître proche de la maquette.
  - Dans l'onglet **Catégories importées**
    - Valider l'importation des familles

## Création de volume

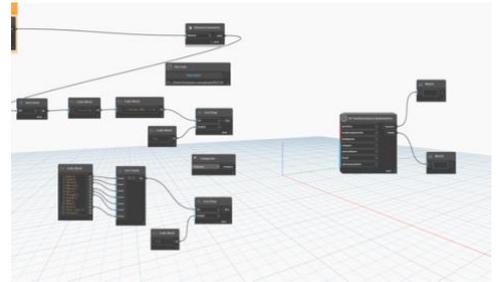
- Création d'une famille par volume
  - Fichier -> Créer -> Famille Revit -> Volume Conceptuel -> **Volumes Controle de Division**. Il est primordial de choisir ce fichier de gabarit de famille puisqu'il intègre déjà les paramètres souhaités tels que l'unité de mesure et les matériaux.
  - Onglet Gérer, ouvrir la commande de codage Dynamo :



- Fichier, Choisir le chemin d'accès au script Dynamo : **01- Volume.dyn**
- Spécifier le chemin d'accès au **fichier Excel** précédemment créé et le **nombre de feuille de calcul du fichier** dans la boîte « **A compléter** »



- Vérifier que le nœud **FamilyInstance.ByGeometry** ne soit relié avec aucune donnée d'entrée



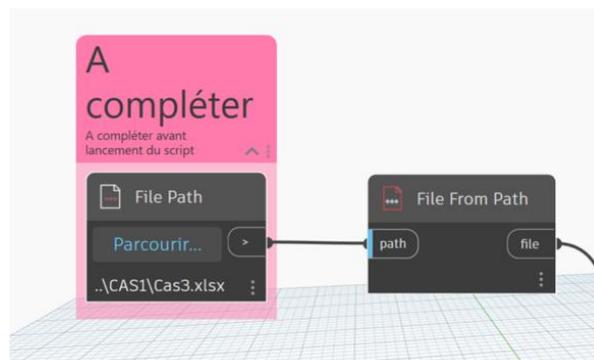
- **Lancer** l'exécution du script. L'ensemble des volumes de la division doit apparaître dans la fenêtre de création de famille Revit
- **Fermer** la fenêtre de création de famille **sans enregistrer**
- **Relier** les 5 données d'entrée aux 5 premiers emplacements du nœud **FamilyInstance.ByGeometry** (*geometry, familyTemplatePath, familyname, category et materialName*)
- **Relancer** l'exécution du script. Directement dans la vue 3D du projet, les volumes colorés doivent se construire 1 par 1. Dans l'arborescence du projet, il est possible de vérifier la présence des familles de volumes qui commencent par **Volume EDDV**
- Vérifier, dans l'interface Revit, si les volumes existent en regardant dans l'arborescence du projet.

## Informations sur les volumes

- Dans l'onglet Gérer, ouvrir la commande de codage Dynamo :



- Fichier, Choisir le chemin d'accès au script Dynamo : **03- Information.dyn**
- Spécifier le **fichier Excel** à parcourir dans la boîte « **A compléter** »

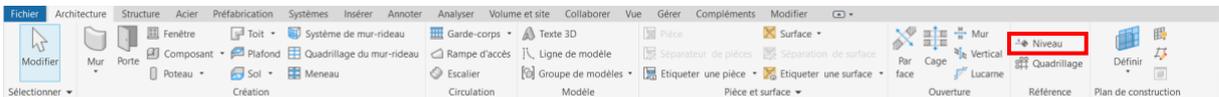


- **Lancer** l'exécution du script.
- Vérifier, dans l'interface Revit, si le script s'est exécuté correctement.
  - Sélectionner les volumes, un par un, et regarder dans l'onglet *Propriétés*, si l'ensemble des champs sont créés et complétés.

## Création des volumes depuis la maquette

### Création des Niveaux

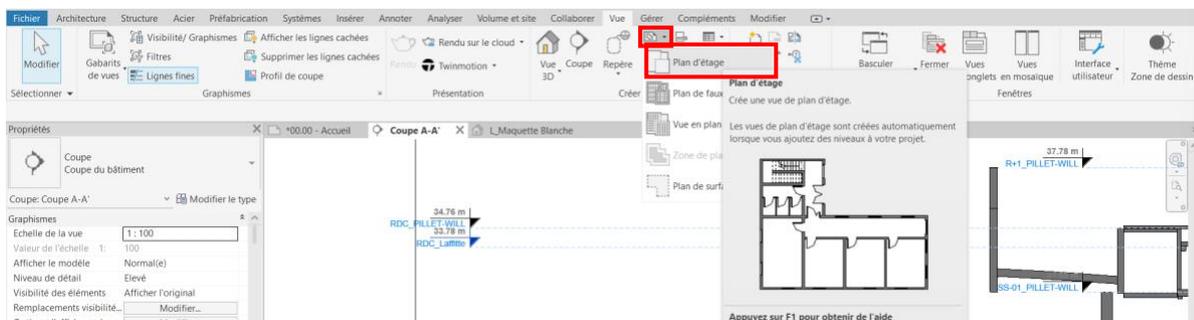
- Sur une coupe altimétrique préalablement effectuée à l'endroit adéquat, permettant la création des niveaux
  - Onglet Architecture, ouvrir la commande *Niveau*



- Créer les différents niveaux en les plaçant correctement altimétriquement, comme ils ont été définis dans la description réalisée dans l'EDDV (Exemple : « Face supérieure de la dalle formant le plancher bas ... » d'altimétrie 193,89m)
- Renommer les niveaux avec des noms reconnaissables.

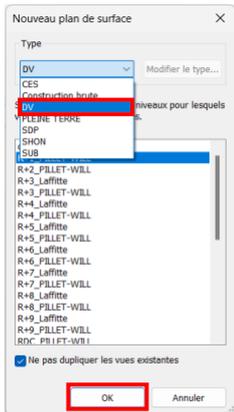
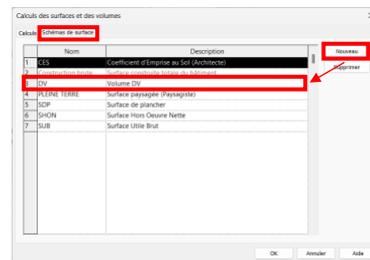
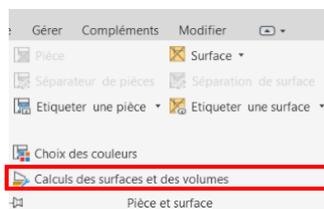
### Création des plans d'étage

- Créer des plans d'étages en choisissant les noms des étages précédemment créés
  - Onglet Vue, choisir *Plan d'étage*
  - *Répéter l'opération pour chaque niveau*

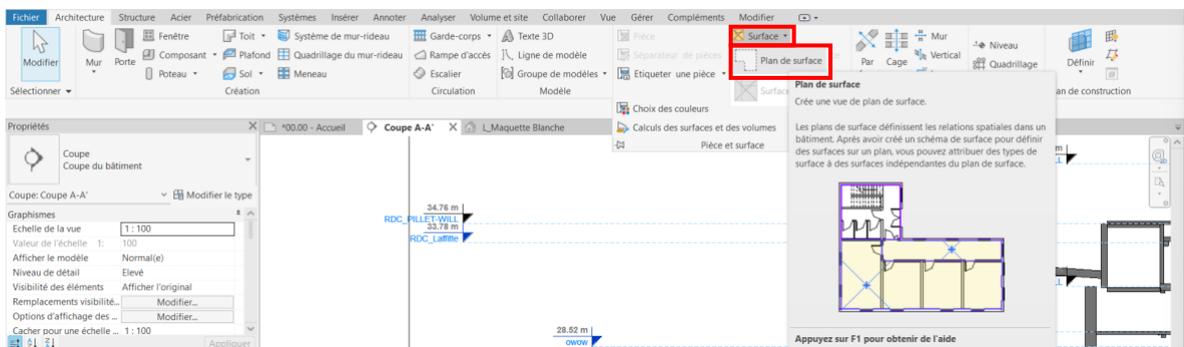


## Délimitation planimétrique de l'emprise

- A chaque étage, dessiner les emprises des volumes telles qu'elles ont été définies dans la description de l'EDDV grâce à l'outil *Plan de surface*
  - Création d'une catégorie de plan de surface
    - Dans l'onglet Architecture, Pièces et Surface – Calculs des surfaces et des volumes – Onglet Schéma de surface – Nouveau – Définir un nom



- Dans l'onglet Architecture, choisir *Surface – Plan de surface – Choisir le type créé*
- Délimiter, niveau par niveau et volume par volume les emprises telles qu'elles ont été décrites dans l'EDVV. Il est primordial de bien dessiner les volumes suivant l'ordre qui a été défini dans le fichier Excel

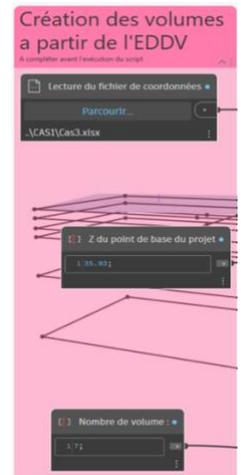


# Comparaison des deux entités

- Onglet Gérer, ouvrir la commande de codage Dynamo :



- Fichier, Choisir le chemin d'accès au script Dynamo : **04- Final.dyn**
- D'abord, il faut définir le premier jeu de données d'entrée
  - Spécifier les informations indispensables à renseigner avant l'exécution du script
    - Le chemin d'accès au fichier Excel
    - L'altitude du point de base du projet (Simple clic sur le point de base).
    - Le nombre de volumes (donc de feuilles présentes dans l'Excel)



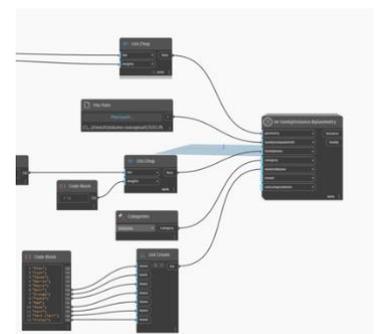
- Ensuite, il faut spécifier la hauteur des volumes issus de la maquette



- Il faut seulement préciser les hauteurs d'extrusion des volumes issus de la maquette. Elles sont implicitement relevées lors de l'acquisition et peuvent être déterminées à partir de la visualisation du nuage. Sinon, c'est la différence entre les deux niveaux Revit associés à la base supérieure et à la base inférieure.

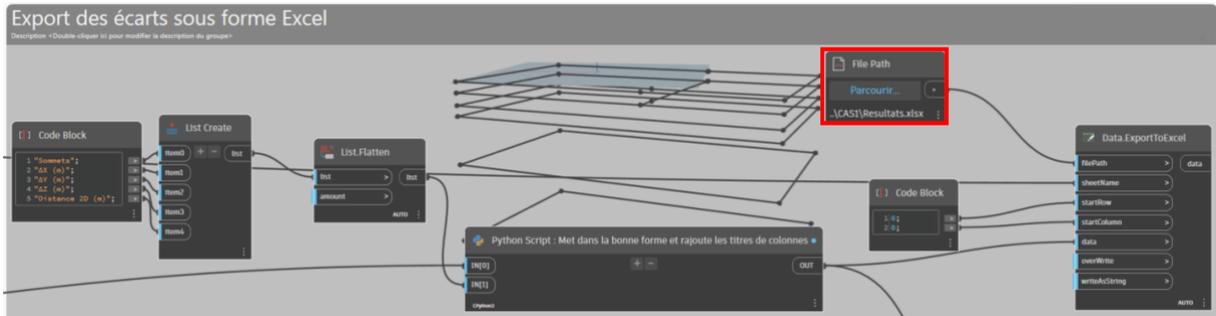
Il est primordial de les mettre dans le même ordre que celui de la définition des volumes dans l'EDDV et donc du dessin par étages.

- Vérifier que le nœud **FamilyInstance.ByGeometry** soit relié avec les 5 premières données d'entrée. Les volumes issus de la maquette vont directement être enregistrés dans le projet sous forme de famille
- Vérifier, dans l'interface Revit, si les volumes existent en regardant dans l'arborescence du projet.



Au préalable, il faut avoir créé un fichier Excel vierge, prêt à recevoir les résultats.

- Spécifier le chemin d'accès au fichier Excel devant recevoir les résultats du processus.



- **Lancer** l'exécution du script.

Il est possible de voir si l'exécution s'est bien déroulée. En effet, juste au-dessus de ce groupe de fonction, une fenêtre renvoie un message à la fin de l'exécution. Deux messages sont possibles, l'un de succès du traitement et l'autre d'échec. Le message d'échec précise la source de l'erreur rencontrée.

Si le traitement a été un succès, le fichier Excel est complété pour chaque volume, avec les écarts, à chaque sommet, entre le volume défini par l'EDDV et le volume décrivant l'emprise des constructions.

- 

## Visualisation des écarts

L'exécution du script va générer une géométrie qui permettra de visualiser les volumes des constructions qui dépassent de leurs emprises théoriques.

- Onglet Gérer, ouvrir la commande de codage Dynamo :



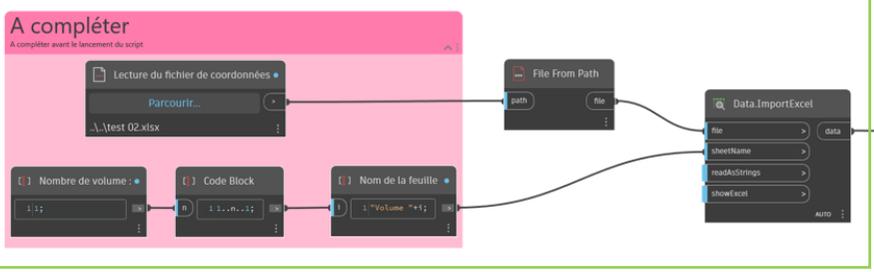
- Fichier, Choisir le chemin d'accès au script Dynamo : **05- Geom.dyn**
- **Lancer** l'exécution du script.

Depuis l'interface Revit, il est possible de vérifier leur création dans l'arborescence du projet. La visualisation de ces géométries est évidente dans les vues 3D qu'offre le logiciel. Mais il est possible de décomposer cette visualisation. Les plans d'étages permettent de visualiser les écarts au niveau planimétrique tandis que l'altimétrie peut être examinée par les coupes.

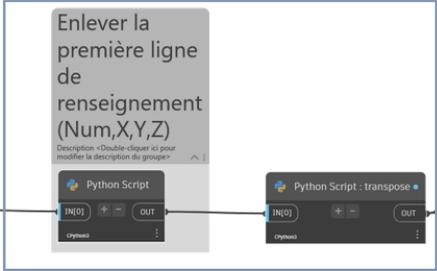
# Annexe 2

## Script Dynamo sur la création des volumes à partir des coordonnées des sommets des volumes 01- Volume

1



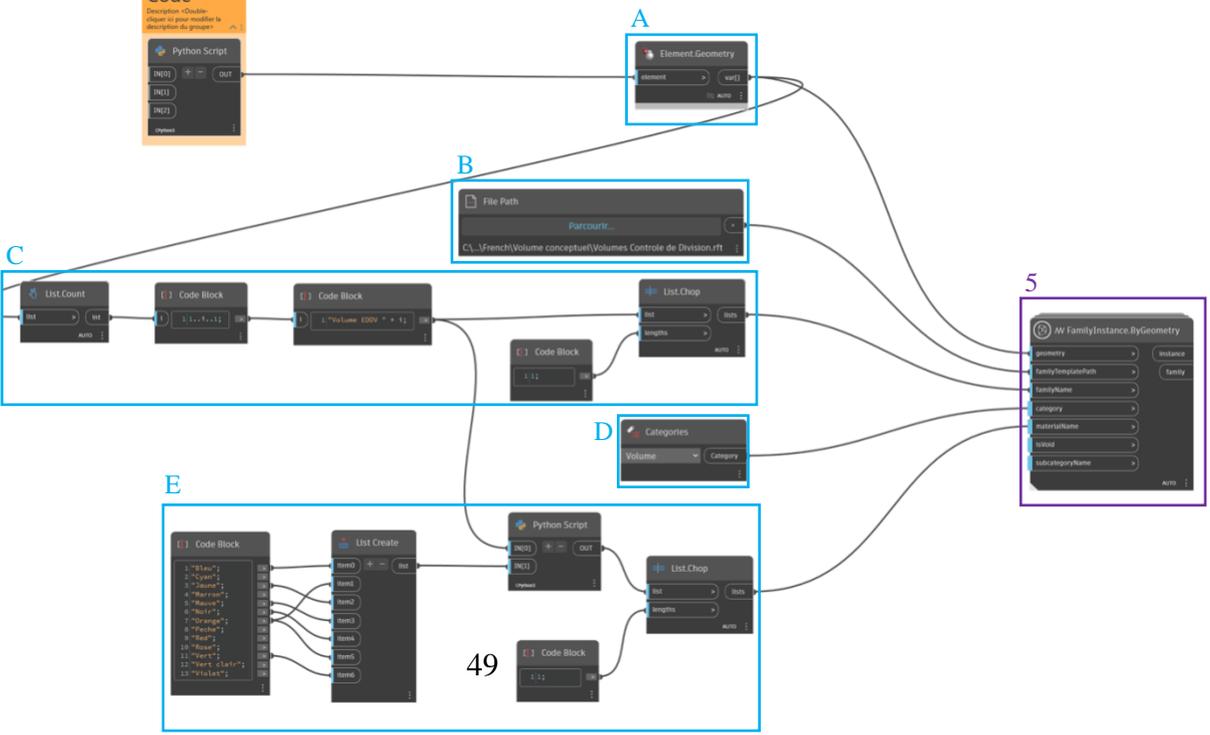
2



3



4



La première partie du script (1) est utilisée pour importer les données depuis un fichier Excel, grâce à la fonction *Data.ImportExcel*. A cause du formatage strict du fichier (Voir Annexe 1), le document possède des informations inutiles à l'exploitation (mais utile pour guider l'opérateur dans le remplissage). Nous réalisons donc un premier tri des données en ne sélectionnant que les coordonnées locales des sommets du volume puis en effectuant une transposition (2).

Dans un but de programmation et d'automatisation du processus, nous devons compter le nombre de sommets pour chaque volume (3), qui diffère à chaque itération de la boucle. La boucle se compose d'un enchaînement de fonctions Revit, codé sur une centaine de lignes Python (4) :

- Lecture d'une feuille de calcul
- Sélection des coordonnées dans le système local
- Affectation d'un Z par défaut si les limites (inférieure et/ou supérieure) sont définies comme l'infini
- Création de lignes avec les sommets des volumes. Seuls les points de bases supérieures et de bases inférieures sont reliés.
- Transformation de ces lignes en polygone
- Extrusion du volume, partant de la polygone inférieure jusqu'à la polygone supérieure.

```

48 # Traitement des données pour toutes les lignes
49 for i in range(long):
50     x.append(donnee_ind[1][i])
51     y.append(donnee_ind[2][i])
52     if donnee_ind[3][i] == "infini +":
53         z_val = 50
54     elif donnee_ind[3][i] == "infini -":
55         z_val = -50
56     else:
57         z_val = donnee_ind[3][i]
58     z.append(z_val)
59     p = Point.ByCoordinates(x[i], y[i], z[i])
60     points.append(p)
61
62 # Création des lignes
63 for e in range(int(long / 2) - 1):
64     l = Line.ByStartPointEndPoint(points[e], points[e + 1])
65     line.append(l)
66
67 l1 = Line.ByStartPointEndPoint(points[0], points[int(long / 2) - 1])
68 line.append(l1)
69
70 for k in range(int(long / 2), long - 1):
71     l = Line.ByStartPointEndPoint(points[k], points[k + 1])
72     line.append(l)
73
74 l2 = Line.ByStartPointEndPoint(points[int(long / 2)], points[-1])
75 line.append(l2)
76

```

Morceau de Code Python utilisé dans la boucle. Le langage intègre des fonctions natives de Revit (fonctions de couleur vert-bleu)

Cette étape est répétée à chaque feuille de calcul du fichier Excel

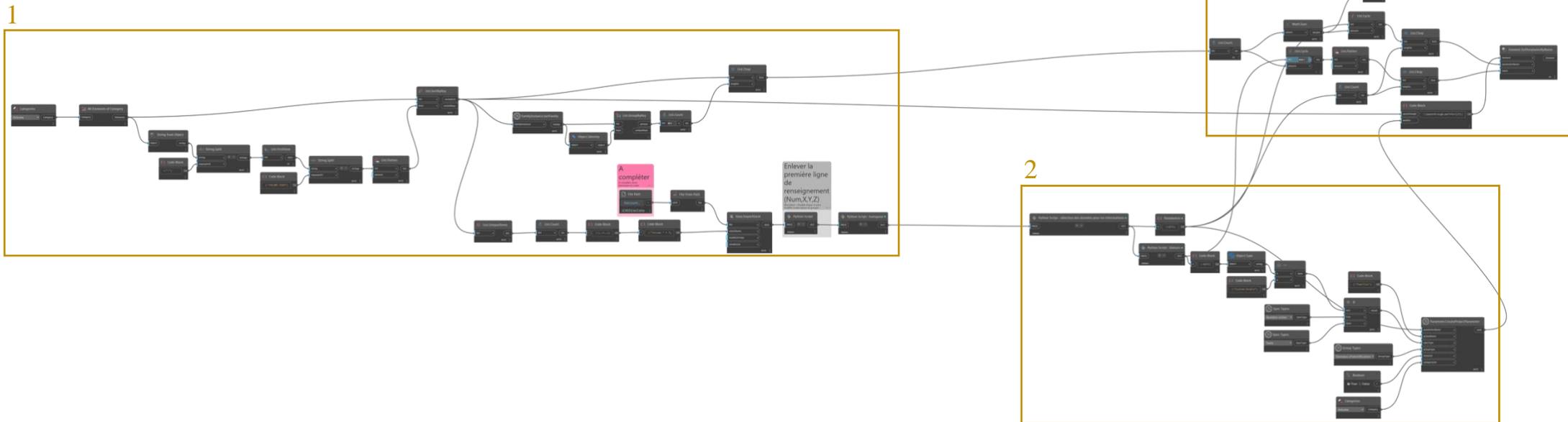
Enfin, la seconde partie est exclusivement utilisée pour générer toutes les familles en même temps (5). Il faut renseigner des valeurs de paramètre d'entrée spécifique à la fonction *FamilyInstance.ByGeometry* :

- Les géométries (A)
- Le lien fichier de gabarit de famille Revit (B)
- Les noms des familles, sous forme de liste (C)
- La catégorie des familles créées (D)
- La liste des matériaux à affecter aux géométries, sous forme de liste (E)

Toutes ces manipulations permettent de générer des volumes colorés et géoréférencés

### Annexe 3

## Script sur le renseignement sémantique des volumes 03- Information



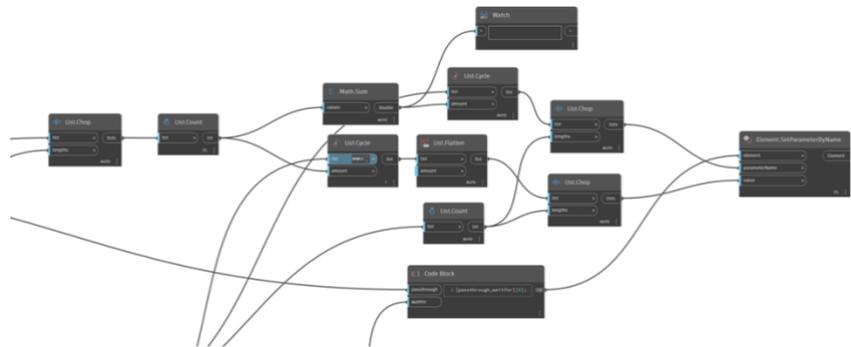
Ce script Dynamo permet le renseignement des informations sémantiques souhaitées sur la famille (Voir II.2.1.1.4). Ce dernier est entièrement automatisé et ne nécessite aucune autre manipulation à part le bon formatage du fichier Excel et le lancement du script. Il se structure autour de 3 grandes sections :

- La première consiste à importer les données depuis le fichier Excel et à les préparer pour qu'elles soient formatées et utilisables (1).
- La deuxième repose sur la création des paramètres, nécessitant des données spécifiques d'entrée (2).
- La troisième et dernière section est utilisée pour affecter les valeurs de chaque volume aux paramètres (3).



### 3ème partie : affectation des valeurs aux paramètres

Les valeurs des paramètres sont ensuite regroupées sous forme de liste puis formatées (fonctions *List.Cycle*, *List.Chop*, *List.Count* et

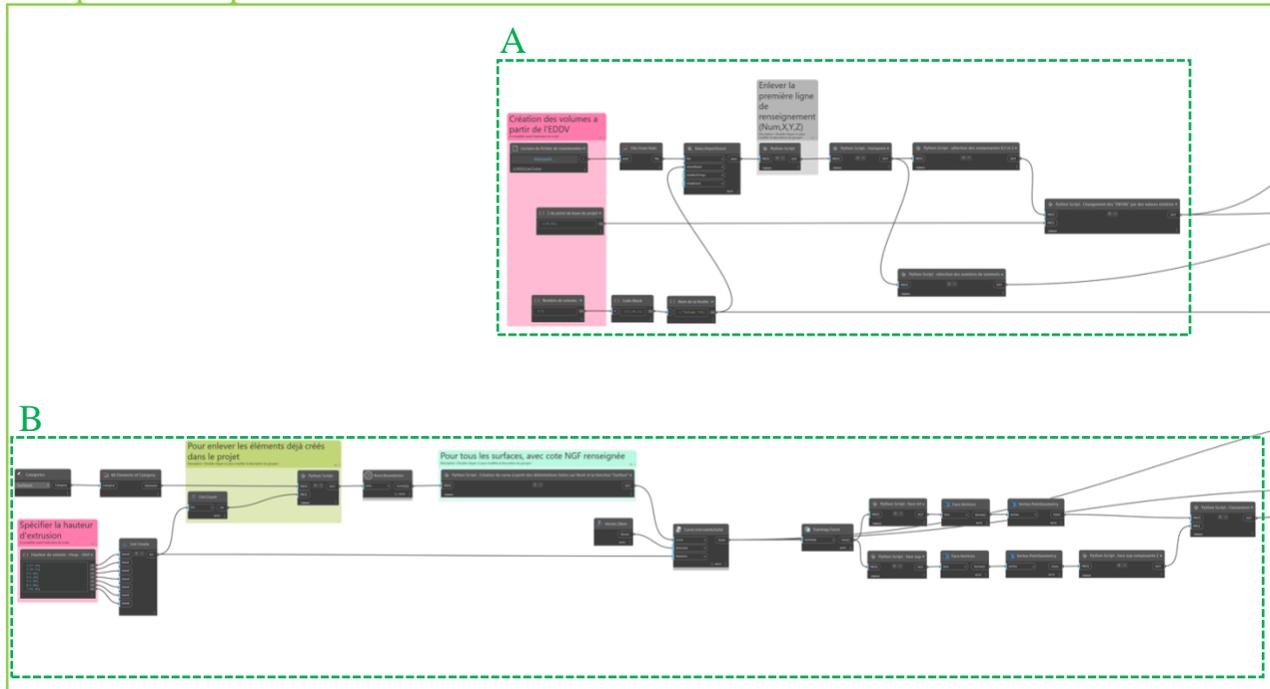


*List.Flatten*) pour s'adapter aux exigences de la hiérarchisation de la fonction *Element.SetParameterByName*. Cette dernière permet d'affecter aux paramètres nouvellement créés une valeur pour chaque volume.

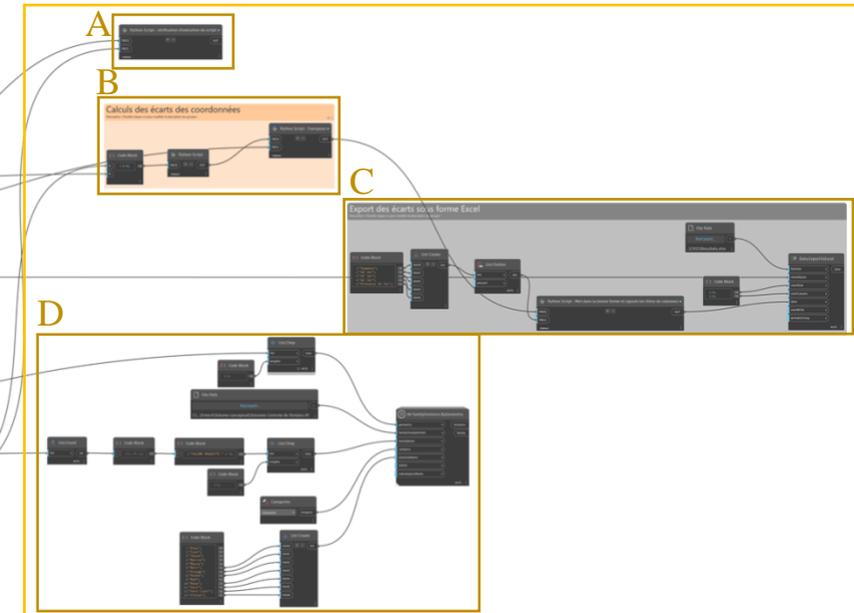
## Annexe 4

### Script sur la transformation des emprises en volumes de la maquette et du calcul des écarts 04- Final

#### 1<sup>ère</sup> partie : importation et traitement des données



#### 2<sup>nd</sup> partie : création des résultats

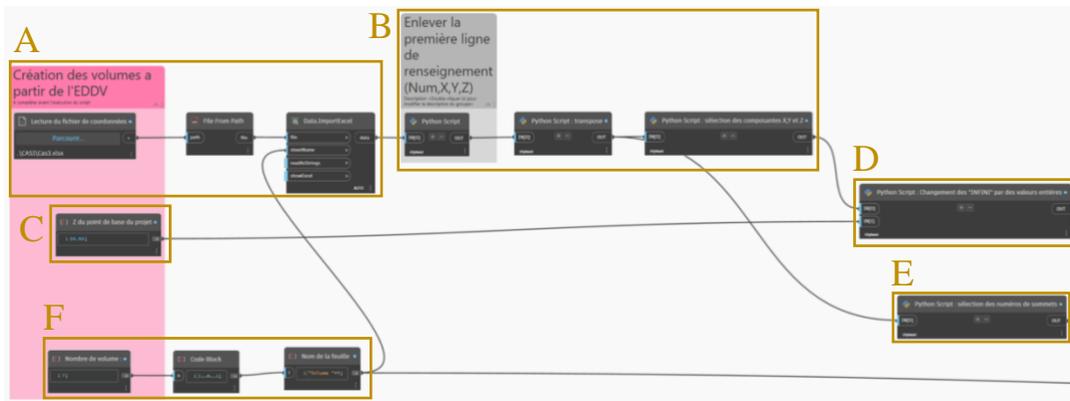


Ce script Dynamo est le plus important de la méthode de contrôle de l'inscription des constructions dans leurs volumes théoriques. Il se décompose en 2 grandes parties que nous allons détailler ci-dessous. La première consiste à l'importation des données puis à leur traitement, tandis que la seconde s'attarde à la création des résultats.

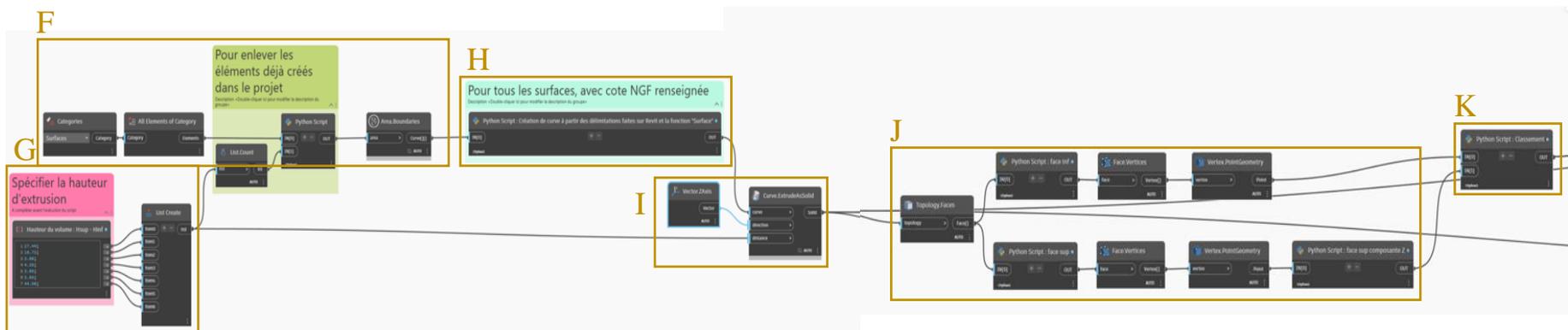
# 1<sup>ère</sup> partie : importation et traitement des données

La première section de cette partie (1<sup>ère</sup> partie – A) consiste à importer les données depuis le fichier Excel, de la même façon que dans l'Annexe 2 (A). Nous avons opté pour réimporter les données brutes plutôt que de prendre la géométrie construite lors du premier script afin

d'éviter certaines erreurs qui auraient pu intervenir précédemment. Ensuite, nous effectuons un nettoyage des données en ne gardant que celles voulues (B). Si les volumes ont des cotes INFINI (+ ou -), nous les changeons en une valeur définie par l'utilisateur (D). Il est important de spécifier l'altitude du point de base du projet (C) pour mettre les altitudes dans le système local, défini par le point de base du projet. Enfin nous gardons en réserve les noms des sommets dans une liste (F).



La seconde section de cette partie (2<sup>nd</sup> partie – B) est consacrée à la création des volumes à partir de la maquette. Grâce aux précédentes manipulations de délimitation planimétrique et altimétrique, il faut créer les volumes associés.



Pour ce faire, nous sélectionnons les derniers *Plans de Surfaces* créés en prenant leurs contours grâce à la fonction *Boundaries* (F). Ensuite, ces délimitations sont transformées en courbes par code Python (H). Ces dernières sont extrudées dans la direction de l'axe des Z (I) et les hauteurs qui ont été préalablement spécifiées par l'opérateur qui doit compléter manuellement une liste (G) . Cette information est à rentrer avant lancement du script et est facilement trouvable, en faisant la différence entre le niveau d'étage N+1 et N. Donc, grâce à un contour, une direction et une hauteur d'extrusion, l'opération aboutit à la création de volumes.

Ensuite, un processus itératif complexe a été mis en place pour récupérer les coordonnées de chaque volume (J) et pour classer la liste les contenant de la même façon que les données issues de l'EDDV (K). Cette étape est une opération difficile puisque les fonctions utilisées pour la réaliser font intervenir l'aléatoire. Cela signifie qu'il n'existe pas de schémas répétitifs dans les fonctions natives de Revit lors de la récupération des coordonnées. Nous avons donc été confrontés à la récupération hasardeuse des coordonnées des sommets des volumes.

Cette boucle itérative de récupération des coordonnées est répétée pour chaque volume (J) :

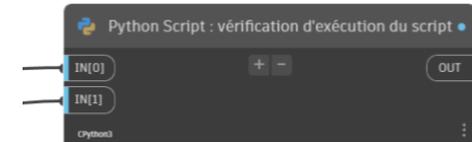
- Du volume, nous choisissons sa face supérieure.
- Nous choisissons ensuite les sommets de la face supérieure.
- Le même processus est effectué sur la face inférieure.
- Nous sélectionnons ensuite les coordonnées des sommets de la face supérieure, dans le sens trigonométrie (le premier point est choisi au hasard).
- Nous formons une première liste avec les coordonnées planimétriques et altimétriques.
- Pour appliquer le même schéma sur la face inférieure, nous faisons une copie de la face supérieure, puis remplaçons la composante altimétrique par la valeur Z de la face inférieure.

Les coordonnées sont donc classées selon le sens trigonométrie, mais le point de départ de chaque volume est aléatoire. Pour automatiser le processus, il est impératif de fixer une norme, une règle pour son bon fonctionnement. Nous avons donc choisi de prendre comme premier point, le point ayant comme coordonnées le plus petit X et le plus petit Z. Dans le code Python (K), ce tri est donc effectué et permet de créer une seconde liste de coordonnées, reprenant le même ordre que la liste issue de l'EDDV et donc prêtes à être comparées.

## 2<sup>nd</sup> partie : création des résultats

Cette seconde partie est exclusivement dédiée à la création des résultats du processus.

Avant, comme évoqué dans les limites de la méthodologie, nous avons mis en place un script d'alerte lorsque les géométries à comparer ne possèdent pas le même nombre de sommets (A).



La comparaison des deux entités se fait facilement en effectuant la différence des coordonnées des sommets de chaque volume (B). Nous faisons la différence entre le volume des constructions et celui du volume issu de l'EDDV. Nous avons également intégré le calcul de la distance plane entre les deux sommets normalement identiques. Pour le point A, nous avons la formule suivante :

$$D_{distance}^A = \sqrt{(X_{construct} - X_{EDDV})^2 + (Y_{construct} - Y_{EDDV})^2}$$

Ces résultats sont ensuite exportés dans un nouveau fichier Excel ©. La hiérarchisation des données d'entrée de la fonction `Data.ExportToExcel` est très importante puisque c'est un paramètre qui va jouer sur le format des



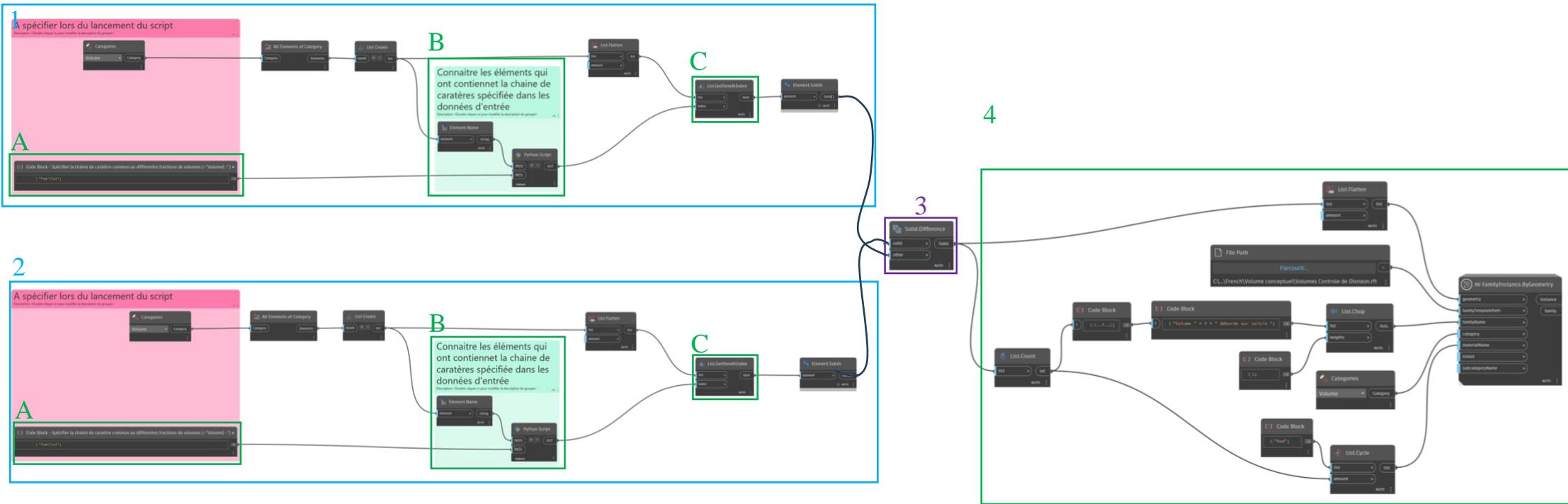
Hiérarchisation des données de notre projet

données dans le fichier Excel. En effet, selon si c'est une sous-liste ou une sous-sous-liste etc., le nombre de feuilles de calcul, le nombre de lignes, le nombre de colonnes changent.

Enfin, les « morceaux » créés sont enregistrés par la même fonction que celle présentée plusieurs fois précédemment en Annexe 2 et 3 (D).

## Annexe 5

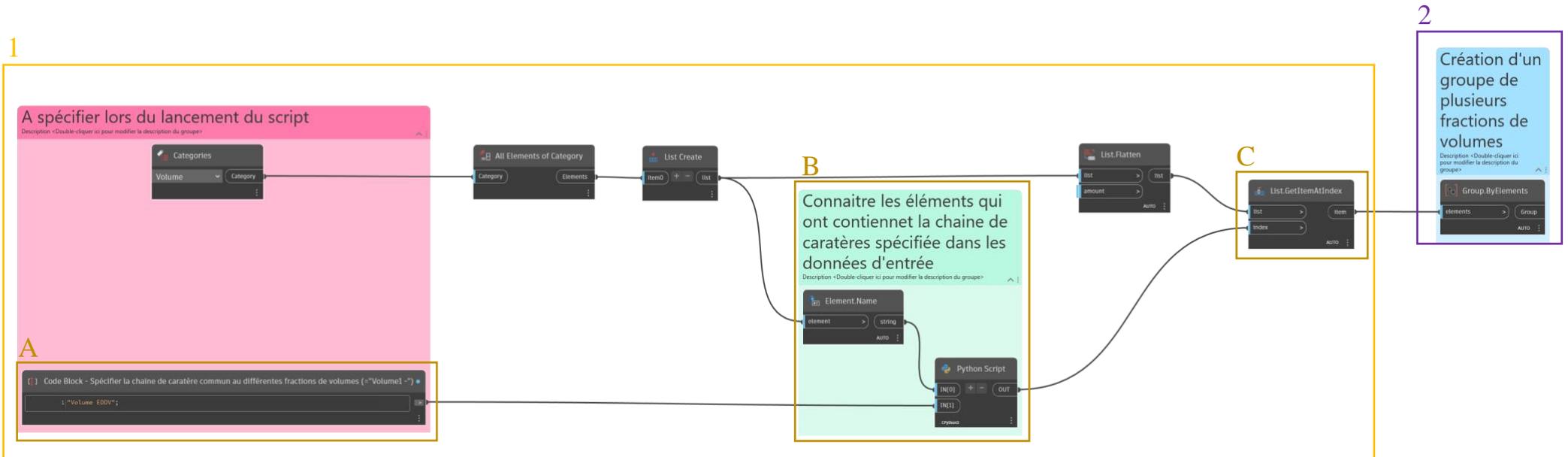
### Script sur la création des « Morceaux » pour une meilleure visualisation 05- Geom



La première partie de ce code (1) et (2) permet de sélectionner les familles à grouper, en effectuant une requête attributive. Il suffit de spécifier la chaîne de caractères communes aux différentes familles (A), et d'en déterminer les indices auxquels cette chaîne est présente (B). Depuis la liste complète des familles, nous sélectionnons seulement ceux avec ces indices (C). Après, nous soustrayons la géométrie des constructions de la géométrie des volumes de l'EDDV (3). Enfin, les « morceaux » restant sont enregistrés comme des familles, par la fonction *FamilyInstance.ByGeometry*, déjà utilisée dans l'Annexe 2 (4), où des paramètres précis sont à spécifier avant lancement du script.

## Annexe 6

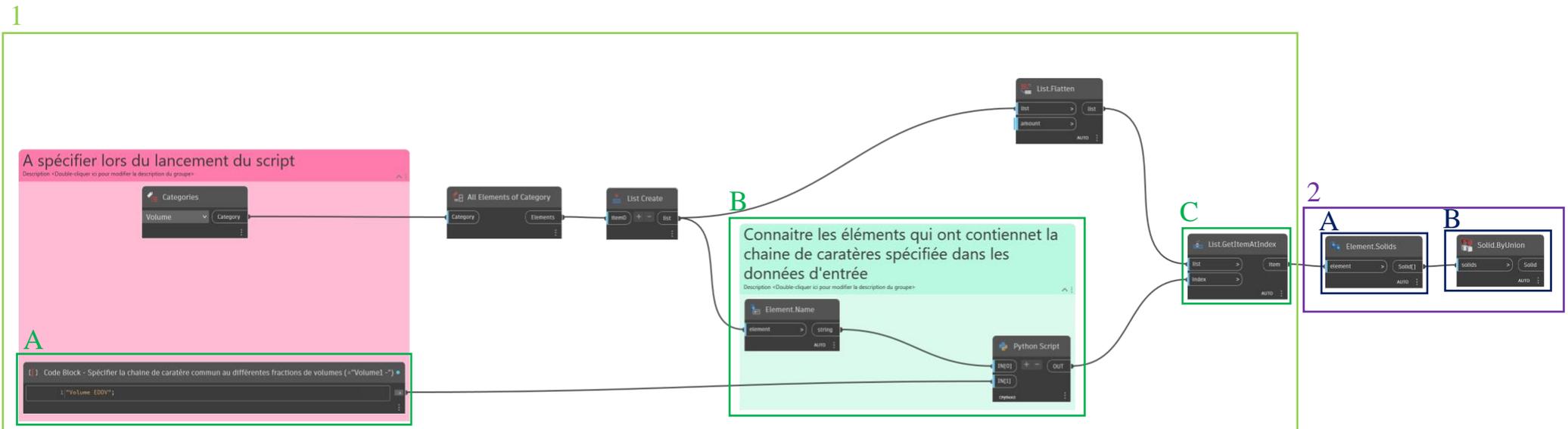
### Script sur la tentative n°1 de regroupement de volumes 02- Groupe



La première partie de ce code (1) permet de sélectionner les familles à grouper, en effectuant une requête attributaire. Il suffit de spécifier la chaîne de caractères communs aux différentes familles (A), et d'en déterminer les indices auxquels cette chaîne est présente (B). Depuis la liste complète des familles, nous sélectionnons seulement ceux avec ces indices (C). Enfin, nous groupons les différentes familles sélectionnées avec la fonction *Group.ByElement* (2).

## Annexe 7

### Script sur la tentative n°2 de regroupement de volumes 07- test\_joined



La première partie de ce code (1) permet de sélectionner les familles à grouper, en effectuant une requête attributaire. Il suffit de spécifier la chaîne de caractères communs aux différentes familles (A), et d'en déterminer les indices auxquels cette chaîne est présente (B). Depuis la liste complète des familles, nous sélectionnons seulement ceux avec ces indices (C). Enfin, la seconde partie (2) permet de grouper les différents objets (A) sélectionnés avec la fonction *Solid.ByUnion* (B).

# **Optimisation de la méthodologie de contrôle de volumétrie à partir d'une maquette BIM et écriture des spécifications fonctionnelles en vue de son automatisation**

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

---

## **RESUME**

L'étude menée se concentre sur l'intégration du processus de contrôle de volumétrie dans le processus BIM, en essor dans le secteur immobilier. L'utilisation de la maquette numérique améliorerait la procédure en favorisant l'exploitation directe de la donnée tridimensionnelle, tout en minimisant l'erreur humaine inhérente à la procédure manuelle.

Le processus mis en place se base sur la création de deux familles géométriques traduisant la situation : les volumes théoriques et les constructions. La comparaison automatique de ces entités nécessite une rigourosité qui permet de produire des résultats quantitatifs et visuels que le Géomètre-Expert doit analyser.

**Mots clés : BIM, maquette numérique, division en volumes, contrôle des constructions dans leurs emprises, automatisation**

---

## **SUMMARY**

This study focuses on the integration of the volumetric control process into the BIM process, which is booming in the real estate sector. The use of the digital model would improve the procedure by allowing direct use of the three-dimensional data, while minimizing human error inherent in the manual procedure.

The implemented process is based on the creation of two geometric families representing the situation: theoretical volumes and constructions. The automatic comparison of these entities requires a rigorous approach that produces quantitative and visual results for the Chartered Surveyor to analyze.

**Key words: BIM, digital model, volume division, construction control within boundaries, automation**