Développement d'une méthode d'intégration systématique des capteurs dans le BIM pour les constructions durables

Yasmine El Khadraoui

▶ **To cite this version:**

Yasmine El Khadraoui. Développement d'une méthode d'intégration systématique des capteurs dans le BIM pour les constructions durables. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2020. dumas-03116146

HAL Id: dumas-03116146

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03116146

Submitted on 20 Jan 2021

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 DES GEOMETRES ET TOPOGRAPHES

MEMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le DIPLOME D'INGENIEUR CNAM

SPECIALITE : Géomètre et Topographe

par

Yasmine EL KHADRAOUI

Développement d'une méthode d'intégration systématique des capteurs dans le BIM pour les constructions durables

Soutenu le 14 Octobre 2020

JURY

Madame SIMONETTO Elisabeth	Président du jury
Monsieur Thibault COLETTE	Maître de stage
Monsieur Jérémie ROBERT	Enseignant référent

Remerciements

Je tiens tout d’abord à remercier mon manager, Monsieur Thibault COLETTE ingénieur topographe à CEMENTYS, pour ses conseils éclairés, sa présence, son soutien et sa disponibilité dans les moments les plus importants de mon mémoire.

Je souhaite ainsi remercier Monsieur Jérémie ROBERT, mon professeur référent, pour son soutien et sa bienveillance.

Je tiens également à remercier les employés de CEMENTYS pour leur accueil chaleureux, leur professionnalisme, leur esprit de travail en équipe et d’être une famille soudée et leur savoir-faire.

Un grand merci aux professeurs de l’ESGT qui m’ont accompagner tout au long de ma formation et leur soutien quotidien pour que je puisse aujourd’hui arriver à cette étape importante de ma vie universitaire et de commencer ma carrière professionnelle.

Enfin, je remercie ma famille. Mon père qui a toujours été là pour me motiver à continuer sans qu’il le sache c’est à lui spécialement que je dédie ce mémoire.

Et puis, merci à mes amis pour leur soutien sentimental et psychologique qui m’ont donné la volonté pour bien mener ce travail.

Liste des abréviations

BIM : Building information modeling, model, management

IoT: Internet of Things

IFC: Industry Foundation Classes

FMM: Facility Maintenance Management

FM : Facility Management

PME: Petite moyenne entreprise

GPE : Grand Paris Express

AEC : Architecture engineering construction

PTNB : Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment

BAC : Building Automation System

O&M : Operations and maintenance

VDV : Vista Data Vison

Glossaire

BIM : une méthode de travail basée sur la collaboration autour d'une maquette numérique, le BIM est le partage d'informations tout au long de la durée de vie d'un bâtiment ou d'ouvrages commençant par leur conception jusqu'à leur démolition.

L'interopérabilité : Possibilité de communication entre deux ou plusieurs systèmes ou produits sans restriction d'accès ou de mise en œuvre qui va permettre aux collaborateurs d'une même opération d'accéder simultanément à une information souhaitée et partager le projet.

IFC: Format de fichier orienté-objet utilisé pour échanger et partager les données entre différents logiciels.

Facility management : est l'ensemble des services nécessaires au bon fonctionnement d'une entreprise, il permet de gérer les différents aspects du bâtiment dont l'entretien, le flux humain, la gestions des urgences, etc.

Table des matières

REMERCIEMENTS **2**
LISTE DES ABREVIATIONS **3**
GLOSSAIRE **4**
TABLE DES MATIERES **5**
INTRODUCTION **7**
I BUILDING INFORMATION MODELING **9**
I.1 ETAT DE L'ART - BIM 9
I.1.1 Définition du BIM 9
I.1.2 Intérêt du BIM : Gain ou perte ? 10
I.1.3 Interopérabilité et format d'échange IFC 11
I.1.4 Niveaux du BIM 12
I.1.5 Etat des lieux d'application du BIM et législation en vigueur 13
I.1.5.1 Application à l'international 13
I.1.5.2 Application en France 14
I.2 APPLICATION DU BIM ET DE L' IOT DANS LE FMM 14
I.2.1 Définition de l'IoT 14
I.2.2 Application d'IoT dans le BIM 15
I.2.3 L'application de l'IoT et du BIM pour une meilleur gestion des bâtiments 15
I.3 LE GEOMETRE, ACTEUR PRINCIPAL DANS L'AUTOMATISATION DES TACHES 17
I.3.1 Complexité liée à l'automatisation des tâches 17
I.3.2 Rôle du géomètre dans un processus BIM 18
I.3.3 Statut et valeur des données dans un modèle BIM 18
II MODELISATION DES DONNEES A INTEGRER DANS LA MAQUETTE 18
II.1 METHODOLOGIE DE RECHERCHE ET CONCEPTION EXPERIMENTALE 18
II.1.1 Préparation du modèle conforme à l'exécution et intégration des données 20
II.1.2 Définition du modèle de base de données des capteurs 20
II.1.3 Lecture automatique des valeurs des capteurs à partir de la base des données 21
II.1.4 Mise à jour de paramètre des capteurs dans le modèle BIM 21
II.1.5 Code couleur de l'élément endommagé 21
II.2 PREPARATION ET PRESENTATION DES MESURES ET DONNEES A INTEGRER 22
II.2.1 Différentes mesures à intégrer dans la maquette BIM 22
II.2.2 Présentation et préparation des données à intégrer dans la maquette BIM 22
II.3 LA PROGRAMMATION VISUELLE : UN OUTIL INTERESSANT POUR LE GEOMETRE 23
II.3.1 Intégration manuelle des données 23
II.3.2 Intégration automatique des données axés sur le développement d'un échange de données entre « DYNAMO » et « REVIT » 24
II.3.2.1 Principe de fonctionnement de DYNAMO 24
II.3.2.2 Présentation de DYNAMO 24
II.3.3 Le modèle proposé pour l'intégration des données dans la maquette BIM 26
II.3.3.1 Création des familles REVIT pour chaque type de capteurs 26
II.3.3.2 Importation des capteurs dans la maquette 28
II.3.3.3 Paramétrage des données d'identification des capteurs 29
II.3.3.4 Code couleur pour chaque groupe 32
II.3.3.5 Gestion des alarmes paramétrées comme un moyen d'aide à la prise de décision dans le cas d'une contrainte ou déformation 34
III INSTALLATION ET CONFIGURATION DU SYSTEME SUR DEUX SITES 36
III.1 GARE CHEVILLY TROIS COMMUNES C3C DU METRO LIGNE 14 36
III.1.1 Présentation du projet L.14 de la société Grand Paris 36

III.1.2 Localisation de la gare C3C 39
III.1.3 Application du modèle 40
III.2 SIEGE SOCIAL DE CEMENTYS 42
III.2.1 Acquisition et géoréférencement des données 42
III.2.2 Importation des données 43
III.3 PERSPECTIVES 44
III.3.1 Sur la visualisation des alarmes 44
III.3.2 Sur la modélisation des capteurs 44
Conclusion 45
Bibliographie 47
Table des annexes 51
Annexe 1 Scripts pour les paramètres de contraintes 52
Annexe 2 Gare Chevilly Trois communes 53
Liste des figures 54

Introduction

Le monde du bâtiment et des travaux publics ne cesse d'évoluer depuis plusieurs années. Dans le but d'améliorer la gestion et l'accompagnement du projet depuis l'étape de la conception jusqu'à la démolition, le recours à l'utilisation du BIM était nécessaire. Cette méthode s'est donc développée et démocratisée, elle occupe actuellement une place importante dans ce domaine de nos jours.

Le BIM permet de travailler d'une manière collaborative ce qui permet de faciliter l'échange des données entre les multiples intervenants sur la maquette numérique 3D. Elle représente à son tour la réalité virtuelle de l'environnement, cette dernière permet aux différents acteurs de rassembler dans un même modèle numérique toutes les caractéristiques physiques et fonctionnelles d'un bâtiment (géométrie, attribut, dimension, coût,…). Des recherches ont été menées ces dernières années afin de pouvoir combiner la technologie d'IoT et BIM. Cependant, celles-ci restent très limitées et essentiellement focalisées sur la transmission automatique des données des capteurs aux modèles BIM. Cette technologie va permettre d'anticiper, de prévenir les défaillances du fonctionnement de l'ouvrage, de transmettre des alertes en cas de danger imminent et de pouvoir mettre en place un système de maintenance en cas de problème pour intervenir dans les meilleurs délais avec la solution optimale prédéfinie.

Les projets, les appels d'offre sont de plus en plus demandeurs de maquette 3D, BIM, les professionnels doivent de plus en plus renseigner des informations dans leurs maquettes numériques. Il s'agit pour l'équipe d'anticiper le développement de son activité dans le BIM c'est pourquoi CEMENTYS a développé une solution pour répondre au besoin actuel.

CEMENTYS est une PME innovante, crée le 25 août 2008 par Monsieur Vincent LAMOUR, basée en région île de France au sein du Plateau de Saclay, à très forte croissance en France et à l'étranger. Elle est un acteur majeur dans les domaines de l'instrumentation, de la surveillance, de la maintenance des infrastructures telles que les centrales nucléaires, barrages, aéroports, ponts, tunnels, Projets grand Paris express,…

CEMENTYS est un acteur majeur du GPE elle possède 40% de part de marché, 13 tunneliers surveillés, 45 Km surveillés et 18 stations surveillées. Elle possède à son actif plusieurs chantiers de grande envergure, notamment du GPE, la ligne L14, L16, L15

tronçon T2C en mobilisant 120 techniciens et ingénieurs, 350 théodolites installés, 15 000 prismes ferroviaires et 16 000 mètres linéaires de forage (figure1).

Figure 1: Plan du GPE (Source : Cementys)

L'objectif de mon projet est la réalisation d'une méthode permettant l'intégration des différents capteurs de surveillance ainsi que leurs données dans l'environnement BIM et un outil de visualisation, de gestion et d'aide à la décision.

Ce mémoire s'orientera donc dans un premier temps vers une introduction sur le BIM. Une deuxième partie sur l'intégration des différentes données des capteurs dans la maquette numérique 3D BIM et le suivi continu des changements en temps réel avant de finir par une troisième partie sur l'installation et la configuration du système sur les chantiers du GPE.

I Building Information Modeling

I.1 Etat de l’art - BIM

I.1.1 Définition du BIM

La modélisation des informations sur les bâtiments BIM est une technologie logicielle récente appliquée dans l'industrie de l'architecture, de l'ingénierie, de la construction et de la gestion des installations. Une représentation numérique 3D complète d'un système ou sous-système de construction, BIM, est à la fois un modèle visuellement précis d'un bâtiment et une base de données permettant d'enregistrer les informations et les éléments du bâtiment. Le BIM est également défini comme une meilleure approche de la conception, de la construction et de la FM, dans laquelle une représentation numérique du processus de construction est utilisée pour faciliter l'échange et l'interopérabilité des informations en format numérique. Dans l'industrie AEC/FM, le BIM est surtout utilisé pour la phase d'exploitation. Les technologies disponibles dans le commerce se concentrent sur le transfert d'informations (de la conception et de la construction à celui de l'exploitation et de la maintenance). Elles permettent la création et la saisie d'informations numériques sur les installations tout au long du processus de construction cycle de vie des installations (figure 2) . Le BIM crée une base de données numérique de tous les biens immobiliers et peut prendre en charge la coordination virtuelle en 3D des activités de construction et d'exploitation. Le BIM contribue également à la FM à la fois comme source d'information et comme dépôt pour soutenir la planification et la gestion des activités du bâtiment. En outre, les personnes peuvent gérer et intégrer efficacement les données nécessaires à la gestion de la maintenance à l'aide de modèles BIM, de sorte que tous les problèmes liés aux installations des bâtiments puissent être reflétés à temps dans le modèle BIM. Cependant, dans les applications actuelles du BIM, les parties prenantes n'adoptent pas entièrement le BIM dans l'industrie de la gestion des bâtiments. Dans ce domaine, la plupart des fonctions sont encore exécutées manuellement, même si les responsables des installations savent que l'adoption du BIM pendant la phase d'exploitation peut réduire les risques d'erreurs et accroître l'efficacité. En tant que technologie relativement nouvelle, les capacités du BIM n'ont pas encore été pleinement exploitées. Pourtant, comme le montre la figure ci-dessous illustrant le cycle de vie d'un bâtiment, cette technologie permet de synthétiser un ensemble conséquent d'informations.

Figure 2: Cycle de vie d'un bâtiment (Source : Emmanuel HOLTZ, 2016)

I.1.2 Intérêt du BIM : Gain ou perte ?

Suite à plusieurs études qui ont été faites pour évaluer l'impact du BIM sur l'économie (figure 3) , on conclut que le BIM aide à améliorer la productivité, l'efficacité, la qualité et la sécurité des projets.

Figure 3: Bénéfices et avantages du BIM pour la France (Source: AEC&ITMEDIA, 2018)

Les technologies numériques vont engendrer des économies de près de 1 000 milliards d'euros en France d'ici 2025.

La maquette BIM étant partagé par de multiples utilisateurs, il est nécessaire d'avoir une base de travail commune (formats de fichier commun, interopérabilité).

I.1.3 Interopérabilité et format d'échange IFC

L'interopérabilité est la capacité que possède un système à échanger des informations avec d'autres systèmes, cela permet aux acteurs travaillant sur des logiciels différents, d'accéder simultanément aux informations. Le travail collaboratif permet une rationalisation des échanges, une unicité des documents et par conséquent une pérennisation ainsi qu'une fiabilisation de l'information. Ces éléments permettent une meilleure gestion du projet et limitent les risques de désagréments liés à une mauvaise organisation ou communication entre les différents intervenants.

Le Format IFC constitue un historique des différentes opérations effectuées, modifications et réparations réalisées. Ces nouvelles méthodes ont un effet sur la qualité des constructions. De plus, une meilleure gestion du planning permet d'éviter les attentes de certains corps de métier. Il s'agit de construire d'une manière intelligente, raisonnée et écologique. Le BIM doit permettre également une meilleure réflexion préalable du projet pour anticiper d'éventuels problèmes. La qualité des ouvrages construits et leur traçabilité s'en trouve grandement améliorée.

Le format IFC est un format qui a été créé par « Building SMART ». C'est un format orienté-objet qui facilite l'échange des données, la collaboration entre les intervenants et l'interopérabilité. Il a été conçu pour tous les types de données et ce durant toute la durée de vie d'un ouvrage.

Les IFC sont probablement le format Open BIM le plus connu et le plus utilisé. Les IFC permettent de représenter la géométrie des objets, la relation et le lien avec d'autres objets, les propriétés, les métadonnées nécessaires à la gestion de l'information. Ils apportent un énorme gain de temps.

Ce format s'est imposé comme le standard international en devenant une norme ISO. Les principales applications BIM sont capables d'importer et d'exporter les IFC mais l'utilisation de ce format induit des pertes d'information qu'on peut avoir lors des conversions.

I.1.4 Niveaux du BIM

Plusieurs niveaux de BIM existent, ils correspondent au niveau de partage et d'interactivité possible. Cette définition propose de retenir quatre niveaux de maturité (figure 4), chaque niveau correspond à une évolution des techniques et des outils collaboratifs.

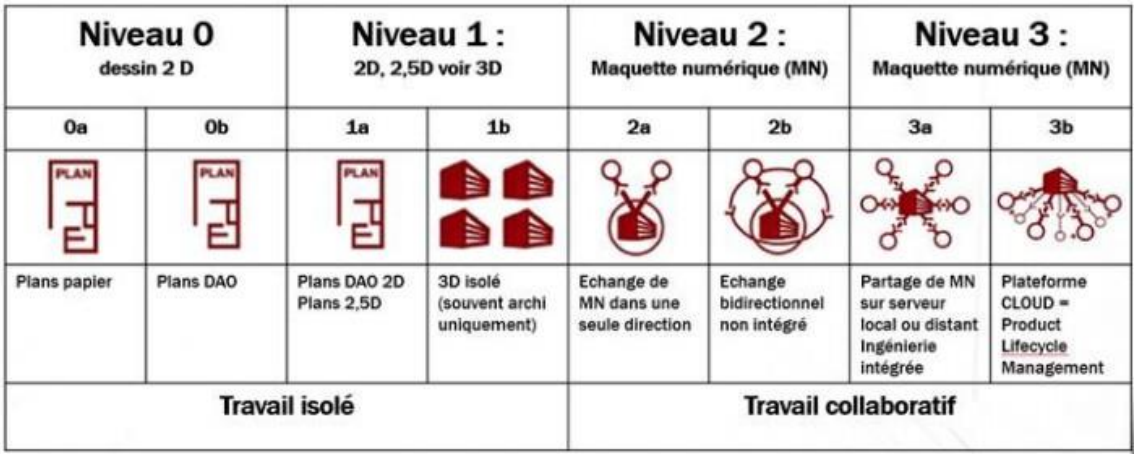


Figure 4: Les niveaux du BIM (Source : Vincent Bleyenheuft, 2015)

Niveau 0 : Plans papiers, conception 2D, la collaboration entre les différents intervenants est donc difficile.

Niveau 1 : Appelé « Lonely BIM ». Conception en 2D souvent en 3D. Les données sont structurées contrairement aux données du niveau 0. Il n'y a pas de travail collaboratif, chacun publie et met à jour ses données individuellement. Le partage électronique et la diffusion des plans habituellement 2D se fait d'une manière traditionnelle.

Niveau 2 : Conception en 3D, c'est un travail collaboratif, c'est un environnement de travail commun mais les échanges sont généralement effectués dans une seule direction mais peuvent être occasionnellement bidirectionnels.

Niveau 3 : On parle ici de BIM intégré, c'est le niveau le plus développé car on parle d'un processus entièrement intégré et collaboratif, accessible via des « services internet » ou des « plateformes collaboratives ». Le travail s'effectue directement sur la maquette numérique donc il n'y a plus d'échanges de documents ou de fichiers, il y a également un suivi continu et une mise à jour des données en temps réel. Mais ce niveau reste jusqu'à aujourd'hui assez théorique. Ces niveaux sont à l'heure actuelle inégalement appliqués au niveau mondial.

Certains états ont depuis longtemps évolués et ont mis en place un niveau proche de 3, alors que d'autres évoluent plus lentement.

I.1.5 Etat des lieux d'application du BIM et législation en vigueur

I.1.5.1 Application à l'international

L'arrivée du BIM dans le domaine du bâtiment s'est faite différemment selon les pays, dans un cadre dépendant des opinions publiques et de la volonté des pouvoirs publics.

Le BIM a été introduit aux Etats-Unis dans les années 70 mais sa mise en œuvre a eu lieu en 1997 avec l'apparition de la première version du format IFC. Il est devenu obligatoire à partir de 2003 et générale dans les programmes majeurs (figure 5).

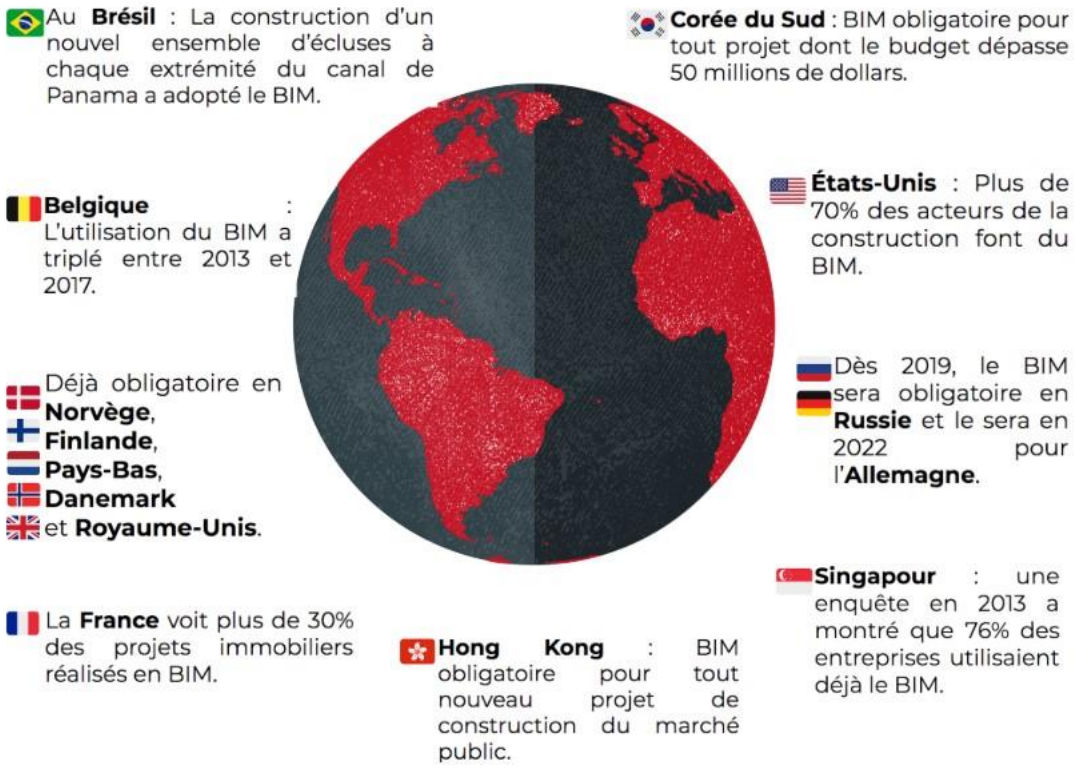


Figure 5: Le BIM dans le monde (Source : levels3d, 2018)

Aujourd'hui, le BIM est très courant dans les pays anglo-saxons et asiatiques ainsi qu'en Europe du Nord. Certains l'ont rendu obligatoire, en s'appuyant sur un réel gain de productivité et d'économie, d'autres l'ont fortement encouragé par des actions gouvernementales.

I.1.5.2 Application en France

La France est encore dans le processus d'adoption du BIM. Depuis 2017, il est rendu obligatoire pour tous les travaux publics et privés, plus particulièrement pour tous les marchés publics mettant en œuvre des bâtiments neufs ou rénovés de plus de 2 000 m². Suite à cette initiative, la France est remontée à la troisième place en 2017 lors du premier baromètre d'adoption du BIM en Europe avec plus de 30% des projets immobiliers réalisées en BIM.

Mais la France cherche toujours à intégrer le BIM dans tout type de travaux car il présente un outil de transition écologique et économique important. C'est pour cela que le PTNB, promu par le gouvernement français, a pour but en 2022 l'intégration des stratégies BIM pour les constructions neuves tant privés que publiques et les travaux des grandes infrastructures. Pour faciliter cette adoption, le PTNB, lors du BIMWORLD en mars 2018, a lancé la plateforme d'échange collaboratif appelé « KROQI », cette plateforme a des objectifs très variés tels que:

- travailler dans un environnement numérique fiable,
- améliorer la gestion et la planification des ressources
- augmenter la réactivité et la productivité et optimiser les coûts
- organiser des réunions, des visioconférences, des discussions
- partager des informations et des documents en temps réel
- affecter et gérer des activités
- générer une maquette 3D à partir d'un plan 2D

Cette initiative s'est avérée révolutionnaire et va sans doute participer au développement économique de la France.

I.2 Application du BIM et de l' IoT dans le FMM

I.2.1 Définition de l'IoT

IoT est un système de dispositifs informatiques interconnectés, de machines mécaniques et numériques dotées d'identificateurs uniques et de la capacité de transférer des données sur un réseau sans nécessiter d'interaction d'homme à homme ou d'homme à ordinateur.

L'IoT est une évolution radicale de l'internet actuel en un réseau d'objets interconnectés qui non seulement recueille des informations de l'environnement et interagit avec le monde physique comme l'actionnement, le commandement et le contrôle. Cette technologie utilise également les normes internet existantes, comme les réseaux d'automatisation et de contrôle des bâtiments, pour fournir des services de transfert d'informations, d'analyse, d'applications et de communications. Grâce à l'utilisation des concepts des technologies de l'information et des communications, de la technologie de transmission sans fil, chaque objet ou dispositif peut être interconnecté pour former un réseau. L'IoT peut être utilisé pour collecter des données sur l'environnement des bâtiments et les équipements critiques (Weiwei CHEN, 2019).

I.2.2 Application d'IoT dans le BIM

Trouver une solution pour l'intégration du BIM, du système d'information géographique (SIG) et de l'IoT pour la gestion des bâtiments intelligents est une priorité. Les systèmes de surveillance et les dispositifs de détection d'anomalies permettent l'automatisation des bâtiments. Les objectifs de l'automatisation des bâtiments sont l'amélioration du confort des occupants, le fonctionnement efficace des systèmes du bâtiment, la réduction de la consommation d'énergie, des coûts d'exploitation, l'amélioration du cycle de vie des services publics. Le plus important est de prévoir les risques qui peuvent menacer les bâtiments.

I.2.3 L'application de l'IoT et du BIM pour une meilleur gestion des bâtiments

Le BIM agit comme un système intégré orienté objet, paramétrique et une base de données tridimensionnelle (3D) lisible par machine pour que les informations sur les installations puissent être stockées, consultées et analysées efficacement.

Les applications BIM pour la FMM sont principalement liées à une combinaison du BIM avec d'autres technologies, telles que la technologie de l'IoT, le système d'information géographique et la réalité augmentée pour améliorer l'efficacité de la maintenance.

Les capteurs deviennent une partie essentielle du réseau de l'IoT, utilisés pour améliorer la précision des mesures et suivre les données en temps réel. Le réseau de capteurs a été utilisé pour surveiller l'état des composants critiques des bâtiments. Avec les technologies BIM et IoT, une grande partie des fonctions de maintenance des installations peut être effectuée automatiquement par des systèmes intelligents. Une interface de tableau

de bord numérique dans les installations permet aux occupants de surveiller facilement les performances des installations, de localiser virtuellement un bien dans un modèle 3D et d'accéder sans effort aux informations FM correspondantes.

Une stratégie de maintenance efficace basée sur le BIM et l'IoT est nécessaire pour réduire le coût de la maintenance mais le problème de l'interopérabilité des informations entre les systèmes BIM, IoT et FM entraîne des coûts substantiels pour le partage et l'intégration des données, ce qui signifie que l'interopérabilité des informations doit être traitée de toute urgence. Ces trois domaines, BIM, FM et IoT, utilisent des structures de données et des normes de données différentes pour représenter l'information comme l'illustre la figure 6.

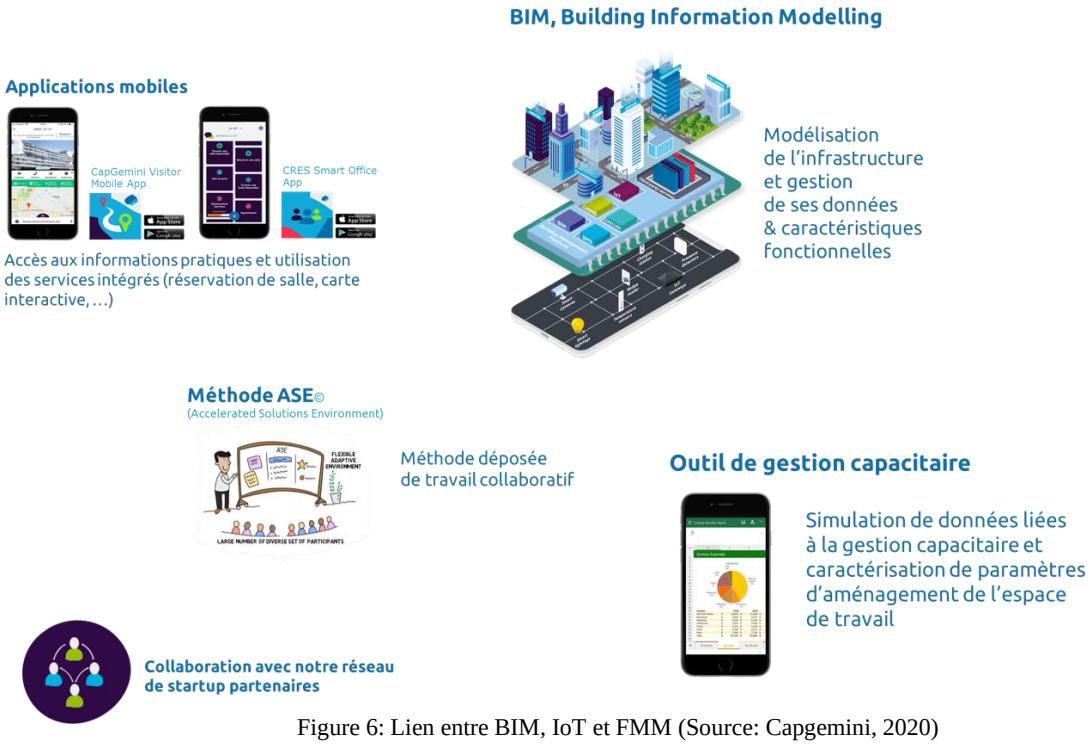


Figure 6: Lien entre BIM, IoT et FMM (Source: Capgemini, 2020)

Par conséquent, l'application de l'IoT et du BIM dans le FMM permet de prendre les décisions préliminaires appropriées de manière directe, autonome. Les informations sont ensuite transmises au personnel pour l'aider dans sa prise de décision finale. Les futures installations seront plus interactives et répondront mieux aux besoins des utilisateurs ainsi qu'à leur environnement extérieur comme illustré dans la Fig.7.

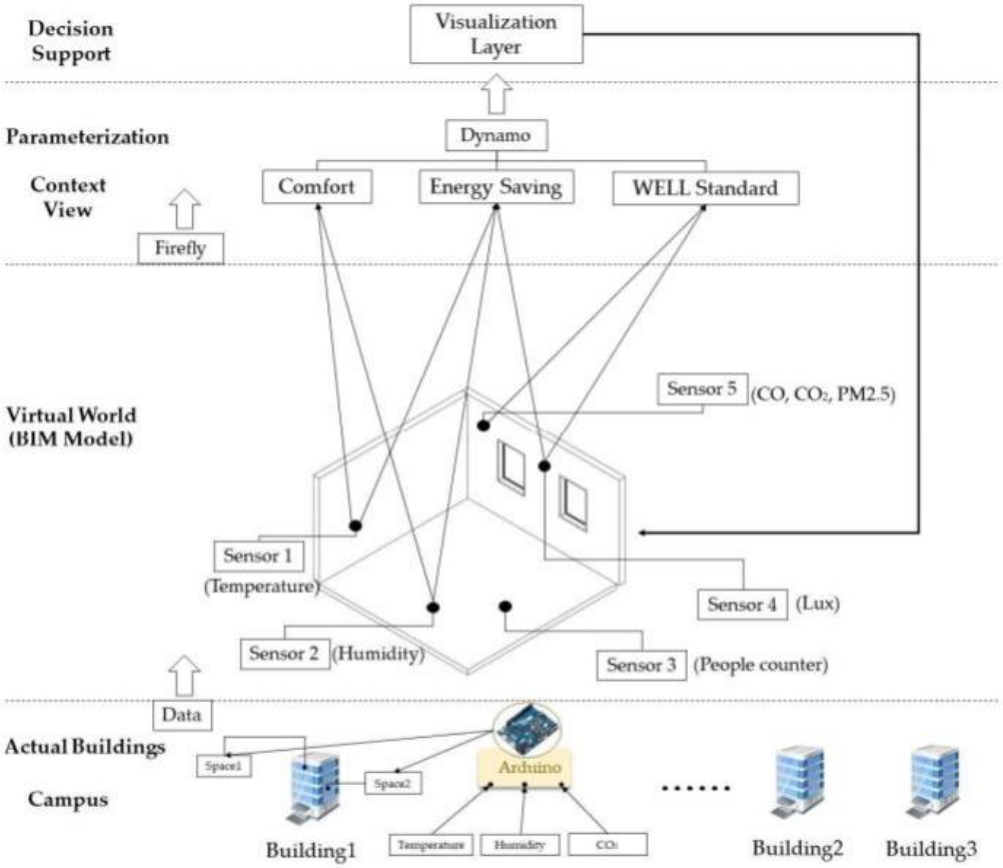


Figure 7: Etapes d'intégration des données de capteurs (Source : (Chang et al., 2018))

Pour répondre à ce besoin, une équipe multi disciplinaire est nécessaire. Au sein de cette équipe, on trouve le géomètre, notamment dans la phase en amont du projet (réalisation de maquette 3D) mais également tout au long du cycle de vie du bâtiment (missions foncières,…).

I.3 Le Géomètre, acteur principal dans l'automatisation des tâches

I.3.1 Complexité liée à l'automatisation des tâches

Le BIM regroupe plusieurs corps de métiers cela entraîne également un énorme flux de données qui se trouvent stocké dans la base de données tout au long du travail. L'automatisation des tâches sert sans doute à éviter et prévoir les erreurs et les défaillances qu'on peut rencontrer lors du process mais la difficulté se manifeste dans la synchronisation des données récoltées par les différents intervenants.

Par exemple, lorsque l'on fait face à des intervenants de domaines différents ou de nationalités différentes. Lorsque chacun d'entre eux utilise son propre logiciel, il est compliqué d'exploiter ces données.

I.3.2 Rôle du géomètre dans un processus BIM

Le géomètre-expert est un acteur majeur de l'aménagement et du cadre de vie ainsi que de la gestion du patrimoine. Il intervient à l'amont, pendant mais aussi à l'aval de chaque projet de construction. Le géomètre est un maillon essentiel du changement ainsi que de la rénovation du bâti.

Il intervient notamment dans la dimension collaborative au niveau du BIM dans des opérations de rénovation/réhabilitation, et dans une moindre mesure sur des projets de constructions neuves. Il réalise des modèles 3D des bâtiments existants qu'il est en capacité d'analyser et de qualifier juridiquement et géométriquement.

Son rôle consiste à mettre en place un outil de visualisation intuitif qui va permettre aux non professionnels de mieux appréhender et comprendre les données présentes de manière fluide.

I.3.3 Statut et valeur des données dans un modèle BIM

Les données stockées dans la maquette 3D doivent être fiables, compréhensibles, exploitables, utiles et sûres car elles vont servir à la prise de décision. Toutes erreur aura des conséquences lourde pouvant induire par exemple la suspension des travaux, des sinistres,… Le modèle BIM facilite de plus la traçabilité des informations.

II Modélisation des données à intégrer dans la maquette

Dans cette partie, nous allons commencer par présenter la méthodologie appliquée pour l'automatisation des tâches, présenter les types des données à intégrer dans la maquette BIM et finir par présenter le modèle de programme réalisé.

II.1 Méthodologie de recherche et conception expérimentale

Au cours de cette sous-partie, et dans le but d'obtenir des résultats adéquats, nous nous sommes basés sur les principes de la méthode de Valinejadshoubi al., 2019

Le cadre proposé se compose de plusieurs modules et sous-modules. L'objectif du module d'évaluation de l'état des capteurs est basé sur la surveillance de la structure et l'évaluation de l'état des modules de construction à l'aide de données de capteurs de manière automatisée. Selon le type de capteurs, différentes méthodes peuvent être appliquées. Par exemple, dans le cas des capteurs de contraintes, la méthode d'analyse de la valeur seuil est souvent utilisée. Elle consiste à déclencher une alarme lorsque la grandeur mesurée dépasse une valeur limite (seuil). En intégrant les données des capteurs au modèle

BIM, les changements détectés dans les propriétés du système ou les dommages locaux peuvent être cartographiés sur le modèle BIM et visualisés dynamiquement.

Les capteurs peuvent être utilisés pour identifier et localiser rapidement l'endroit où un élément dépasse le seuil de contrainte prédéfini. Le système est relié au modèle BIM pour mettre en évidence spécialement les éléments endommagés de manière automatisée. L'efficacité et la rapidité du processus d'évaluation de l'état des structures peut potentiellement aider les non-ingénieurs à interagir avec les éléments de construction et à obtenir une idée globale de l'état des structures.

Dans le cadre de notre étude, deux liens existent : le lien entre le système sensoriel et le système de gestion de base de données et le lien entre le système de gestion de base de données et le modèle BIM. Tout d'abord, le modèle BIM est développé avec tous les éléments, y compris le capteur virtuel et ses paramètres essentiels. Le modèle BIM est utilisé comme modèle central pour visualiser et surveiller le niveau de contrainte dans les éléments critiques. Après avoir développé le modèle BIM, une base de données spécifique est conçue pour héberger et mettre à jour les données des capteurs. Lorsque les données des capteurs de contrainte sont importées dans la base de données, elles doivent être lues par un outil externe avant d'être traitées. À cette fin, un outil de programmation visuelle et de conception informatique appelé Dynamo est utilisé pour l'automatisation des tâches.

Pour relier la base de données et le modèle BIM, des modules ont été développés et codés dans Dynamo pour lire automatiquement les données stockées dans la base de données et mettre à jour le modèle BIM avec les dernières données de capteurs en temps réel. Ces données ont été utilisées pour prévenir les utilisateurs si les valeurs mesurées dépassent le niveau de seuil prédéfini. Les éléments structurels sont automatiquement mis en évidence dans le modèle BIM afin d'identifier et de localiser rapidement les éléments défaillants et générer un signal d'alarme. Les étapes de traitement sont illustrées à la figure 8.

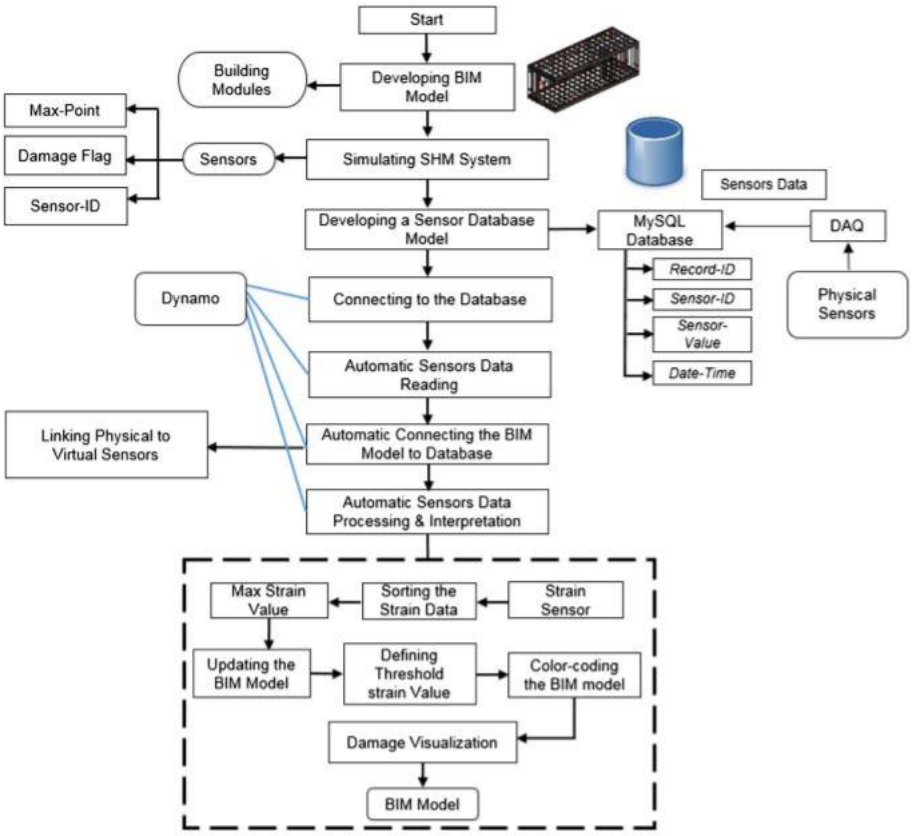


Figure 8: Hiérarchie des étapes (Source : (Valinejadshoubi al., 2019))

II.1.1 Préparation du modèle conforme à l'exécution et intégration des données

Après avoir développé le modèle BIM, les capteurs de surveillance doivent être simulés dans le modèle. Un capteur de contrainte est modélisé et fixé à ses emplacements spécifiés dans le modèle BIM. De nombreuses catégories différentes existent dans les objets BIM, tels que colonne, poutre, plancher, toit, porte, fenêtre, et autres. Dans le BIM, chaque catégorie a son propre nom de classe IFC, comme IfcColonne et IfcToit pour n'en citer que quelques-uns, et dans les capteurs. Les noms de classe IfCapteur et IfcCapteurType sont classés sous la catégorie installations électriques pour les stations par exemple. Différents paramètres sont définis pour le capteur de contrainte lors de la modélisation : données d'identité (par exemple, matricule, coordonnées,…).

II.1.2 Définition du modèle de base de données des capteurs

Pour insérer les données détectées d'un capteur dans une base de données, il faut définir une base de données, ainsi que tous les paramètres essentiels. La table de base des données comprendra les données du capteur reçues du système d’acquisition. Pour éviter

que les utilisateurs ne génèrent manuellement le modèle de base de données (capteurs, nœuds, blocs de code), des connexions sont nécessaires pour automatiser ce processus dans Dynamo. Cet outil supporte l'utilisation de blocs de code, éléments contenant de petits scripts écrits dans un langage de programmation. Ces derniers permettent de générer des algorithmes courts qui introduisent des fonctionnalités plus complexes qu'il n'est pas possible de générer avec d'autres nœuds.

II.1.3 Lecture automatique des valeurs des capteurs à partir de la base des données

Cette étape consiste à lire automatiquement les données détectées dans la base de données. Différents nœuds sont appliqués et connectés les uns aux autres pour cette lecture automatique des données des capteurs. Par conséquent, plusieurs blocs de nœuds ont été réalisé afin d'intégrer systématiquement les capteurs ainsi que ses données d'identifications dans le model BIM pour renseigner la maquette au maximum. Ainsi, notre but est d'identifier si un élément est endommagé ou bien si la valeur maximale de la déformation est inférieure à la valeur seuil de déformation prédéfinie.

II.1.4 Mise à jour de paramètre des capteurs dans le modèle BIM

Après avoir récupéré et trié les valeurs (stockées dans la base de données), les paramètres des capteurs virtuels associés sont mis à jour dans le modèle BIM à l'aide d'un module développé à cet effet. Dans ce module, le nœud « SetParamaterByName » est utilisé pour mettre à jour chaque paramètre du capteur de contrainte dans le modèle BIM ainsi que la valeur de contrainte maximale enregistrée dans la base de données. La valeur maximale de déformation est enregistrée à la fin de chaque intervalle de temps, et le paramètre correspondant dans le modèle BIM est mis à jour en conséquence. Un ensemble de modules est développé pour définir les valeurs seuils de déformation et les schémas de codage couleur pour les composants structurels endommagés afin de représenter leur statut dans le modèle BIM. Ainsi, un système d'alarme peut être généré et transmis au personnel responsable pour qu'il s'occupe de la structure.

II.1.5 Code couleur de l'élément endommagé

Après avoir détecté un dépassement de seuil, les éléments endommagés sont mis en évidence à l'aide d'un code couleur prédéfini « rouge ». Il fonctionne comme un système d'alarme pour mettre en évidence les éléments où la contrainte produite par des forces

externes dépasse la valeur seuil prédéfinie. À cette fin, un bloc de nœud est créé pour réaliser cette étape.

II.2 Préparation et présentation des mesures et données à intégrer

II.2.1 Différentes mesures à intégrer dans la maquette BIM

Pour que la maquette numérique 3D soit complète, utile et efficace on doit renseigner plusieurs types de paramètres nécessaires pour le suivi de l'état des bâtiments lors des travaux et leur mouvement à travers les données auscultées tels que la température, humidité, déformations mesurées par prismes, bruits,… qui sont transmis par les capteurs de surveillance:

- la station totale robotisée
- capteurs inclinométriques
- Capteurs de températures, humidité, pression, …
- Chaînes inclinométriques automatiques
- Capteurs à Corde Vibrante
- Capteurs à Fibre Optique

Figure 9: Fissuromètre (Source : Cementys)

Figure 10: Station totale robotisée (Source : Cementys)

II.2.2 Présentation et préparation des données à intégrer dans la maquette BIM

Nous avons commencé tout d'abord par créer notre propre base de données, un fichier Excel qui va contenir tous les données nécessaires des capteurs de surveillances tels que le matricule, les coordonnées X,Y et Z, la température, l'humidité, les seuils de contrainte,… Pour traiter notre sujet nous avons choisi de travailler sur les données des stations, prismes et station météo, les différents données sont illustrées dans les Fig. 11 et 12.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	STA 1	2000	50	50	https://l16l1.cementys.com/vdv.php/rtd/553			
2	STA 2	3000	7000	0	https://l16l1.cementys.com/vdv.php/rtd/553			
3	STA 3	5000	4000	0	https://l16l1.cementys.com/vdv.php/rtd/553			
4	STA 4	2000	6000	1000	https://l16l1.cementys.com/vdv.php/rtd/553			

Figure 11: Données XYZ des stations (Source : base de données personnelle)

	A	B	C	D	E
1	1	Prisme 1	7000	2000	2000
2	2	Prisme 2	4000	10	0
3	2	Prisme 3	5000	2000	0
4	3	Prisme 4	3000	5000	1000
5	3	Prisme 5	8000	1000	3000
6	4	Prisme 6	6000	5000	2000
7	1	Prisme 7	7000	2000	20
8	4	Prisme 8	4000	8000	0
9	2	Prisme 9	2500	3870	1000
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

Station | **prisme** | Station Météo

	A	B	C	D
1	S_Météo	8000	3000	7000
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				

Station | prisme | **Station Météo**

Figure 12: Données XYZ des prismes et de la station météo (Source : base de données personnelle)

II.3 La programmation visuelle : un outil intéressant pour le géomètre

II.3.1 Intégration manuelle des données

L'intégration manuelle des données de mesures des capteurs de surveillance est certes la méthode la plus classique. Elle présente, sans doute, plusieurs inconvénients puisqu'on doit renseigner par nous-même chaque donnée. Cela peut présenter un énorme problème si on est face à plusieurs données à intégrer dans la maquette (perte de temps, manque d'efficacité, erreur de saisie,…). Donc, nous ne pouvons pas considérer la méthode manuelle comme une solution optimale pour un résultat minutieux.

II.3.2 Intégration automatique des données axés sur le développement d'un échange de données entre « DYNAMO » et « REVIT »

II.3.2.1 Principe de fonctionnement de DYNAMO

Dynamo est un langage de programmation visuelle dont la syntaxe s'exprime sous forme de graphiques. Son principe de fonctionnement repose sur la création des programmes en reliant des blocs de codes prédéfinis appelés « nœuds ». Ces nœuds sont reliés par des lignes qui déterminent la logique des événements, les relations et les séquences d'actions qui composent des algorithmes personnalisés. Nous pouvons utiliser ces algorithmes pour un large éventail d'applications, en particulier du traitement de données en temps réel sans faire appel aux autres langages de programmation plus compliqués.

Cet environnement de programmation ne nécessite pas de connaissances en langage de programmation traditionnel, mais demande une démarche logique.

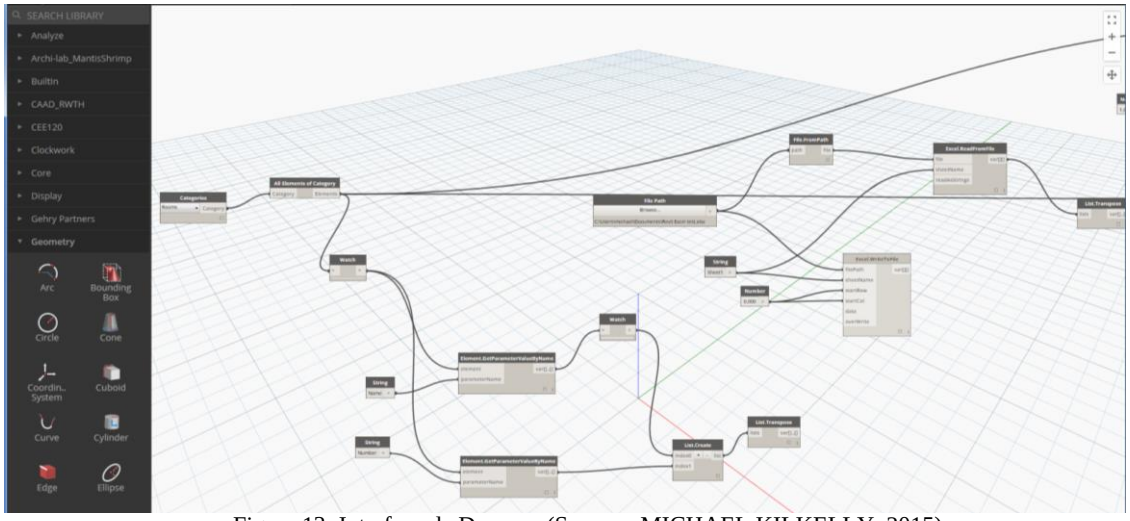


Figure 13: Interface de Dynamo (Source : MICHAEL KILKELLY, 2015)

II.3.2.2 Présentation de DYNAMO

Dynamo est un plug-in Open Source développé par Autodesk et installé dans REVIT (figure 14). C'est un logiciel de conception paramétrique qui peut travailler en étroite collaboration avec des logiciels basés sur la BIM tels que Revit, et permet à l'utilisateur de créer automatiquement par programmation des composants BIM en 3D en fonction de certains paramètres. Il constitue également un langage de programmation visuel fournissant des palettes de blocs visuels. La modélisation paramétrique basée sur les objets est la base de la technologie BIM. L'utilisateur peut exécuter Dynamo de manière indépendante pour définir le processus de construction et modifier divers composants architecturaux. Dynamo permet de mettre en place des processus ou des plates-formes

informatiques automatisés par le biais d'une interface de compilation visuelle basée sur des nœuds, afin d'effectuer le traitement des données et corréler des paramètres structurels et géométriques.

Après l'écriture d'une tâche Dynamo, il suffit juste de lancer le programme en passant par l'outil Dynamo Player (figure 16) qui permet d'exécuter le programme sans ouvrir l'interface du logiciel. Elle permet d'interagir directement avec Revit ou en exécutant le script soit d'une façon automatique soit d'une façon manuelle dans la barre d'exécution.

Le programme doit être relancé après chaque changement des objets dans le programme ou changement des données d'entrées.

Figure 14: Plug-in Dynamo dans Revit (Source : Autodesk)

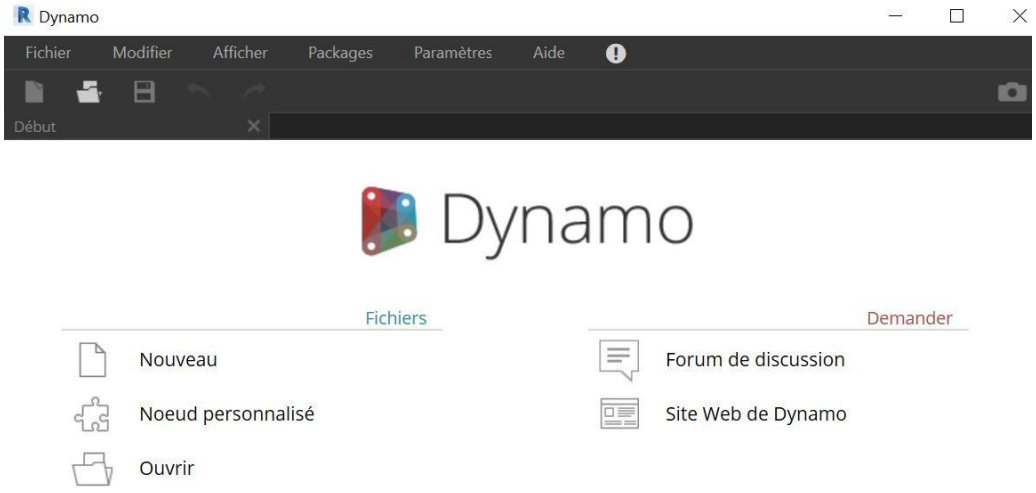


Figure 15: Lancement Dynamo (Source : Autodesk)

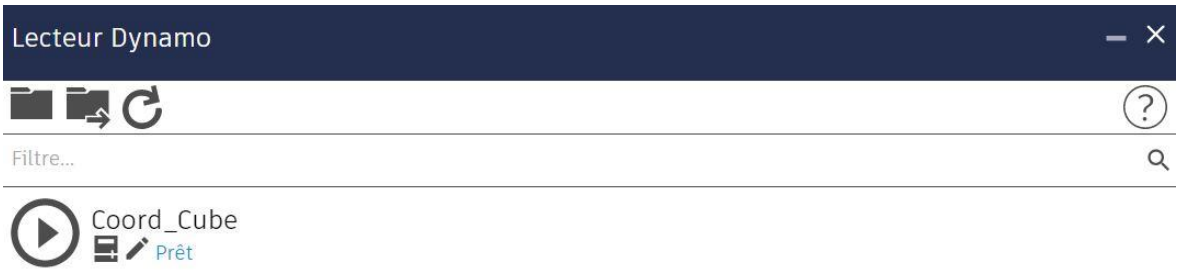


Figure 16: Dynamo Player dans Revit (Source : Autodesk)

La Bibliothèque Dynamo contient les nœuds que nous ajoutons à l'espace de travail pour définir les programmes visuels à exécuter. Dans la bibliothèque, nous pouvons rechercher ou naviguer vers les nœuds. Les nœuds de base installés, les nœuds personnalisés et les nœuds du Package Manager que nous ajoutons à Dynamo sont organisés de manière hiérarchique par catégorie.

Les Packages sont comme des compléments pour Dynamo. Ils sont créés par des utilisateurs et partagés localement avec des collègues ou avec le monde entier via le gestionnaire des packages dans Dynamo. Ils peuvent contenir un seul nœud ou une bibliothèque complète de nœuds que vous pouvez utiliser. Si un package dépend d'autres, ceux-ci seront également téléchargés et installés.

Les packages, comme les autres nœuds personnalisés, sont des fichiers externes. Lorsque vous partagez un fichier Dynamo avec quelqu'un d'autre qui n'a peut-être pas installé ce paquet ou ce nœud personnalisé, vous verrez un avertissement et une fois installé, l'avertissement disparaîtra et le fichier Dynamo devrait agir.

II.3.3 Le modèle proposé pour l'intégration des données dans la maquette BIM

II.3.3.1 Création des familles REVIT pour chaque type de capteurs

A l'aide des familles Revit, on construit un modèle pour les différents types de capteurs tels que dans notre cas les stations, les prismes, la station météo,… On utilisera par exemple une famille de site métrique pour les prismes, installations électriques pour les stations.

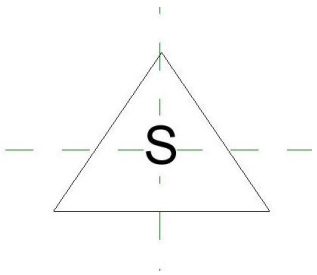


Figure 17: schéma de la station

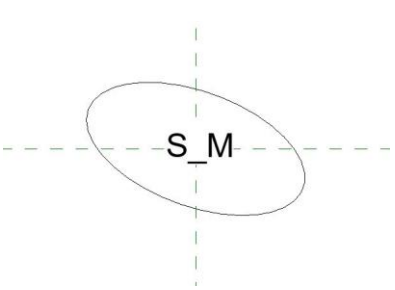


Figure 18: schéma de la station météo

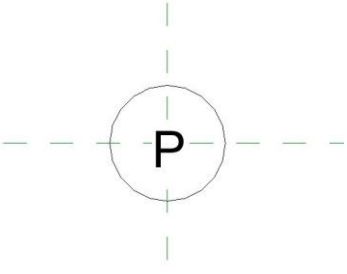


Figure 19: schéma du prisme

Ces familles crées vont nous permettre de modéliser chaque objet que nous voulons intégrer dans la maquette BIM. Cela va permettre à l'utilisateur de distinguer chaque type d'objet grâce à sa forme. Après la modélisation de chaque capteur, nous personnalisons les propriétés de ces derniers en ajoutant les paramètres utiles comme illustré dans les figures 20 et 21.

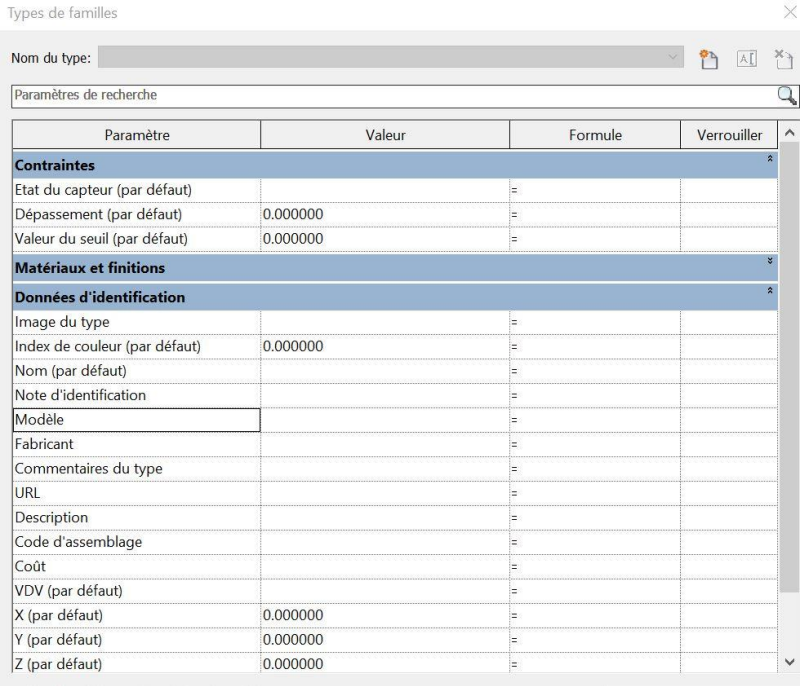


Figure 20: Propriété de famille Revit (Source personnelle)

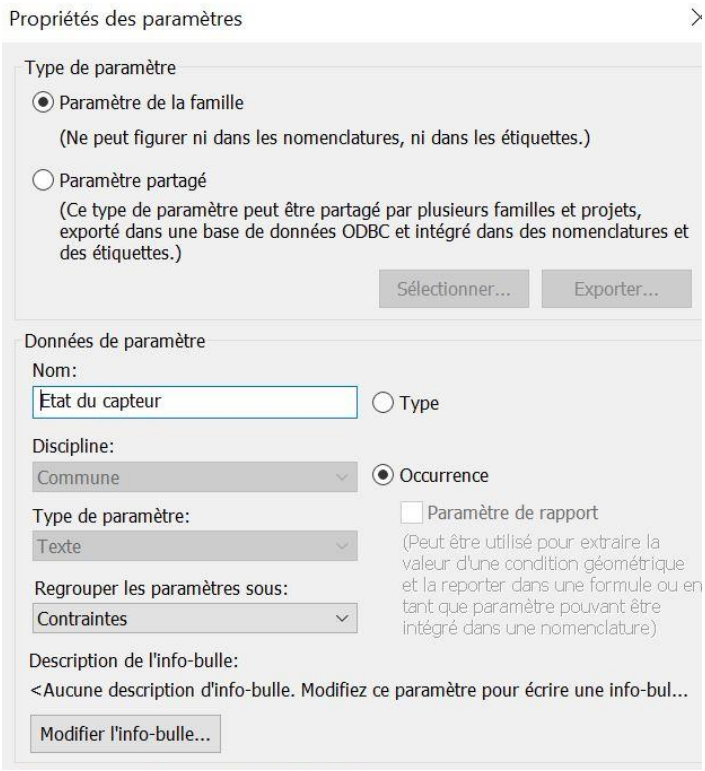


Figure 21: Création du paramètre type famille (Source personnelle)

II.3.3.2 Importation des capteurs dans la maquette

Tout d'abord, on commence par modéliser un modèle 3D, nous avons opté pour une forme de cube qui va servir de support à l'intégration des données de capteurs.

Dans l'interface de Dynamo, un premier script est développé afin d'intégrer les données Excel dans Revit, ce script permet également d'importer le fichier Excel, de lire son contenu pour ensuite pouvoir récupérer les coordonnées X, Y et Z de chaque capteur. Ces coordonnées seront visibles dans les données d'indentifications de chaque capteur (stations totales, prismes et station météo).

Dynamo permet de faire l'export\import au format Excel sans passer par des nomenclatures ou par un autre plug-in BIM One comme le montre la Fig.22.

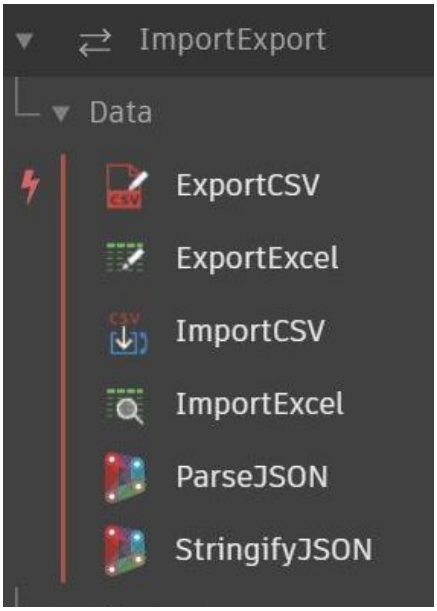


Figure 22: Onglet Import\export dans Dynamo (Source :Dynamo Player)

Le script illustré dans la Fig.23 permet de parcourir le fichier des données soit sous forme Excel ou CSV.

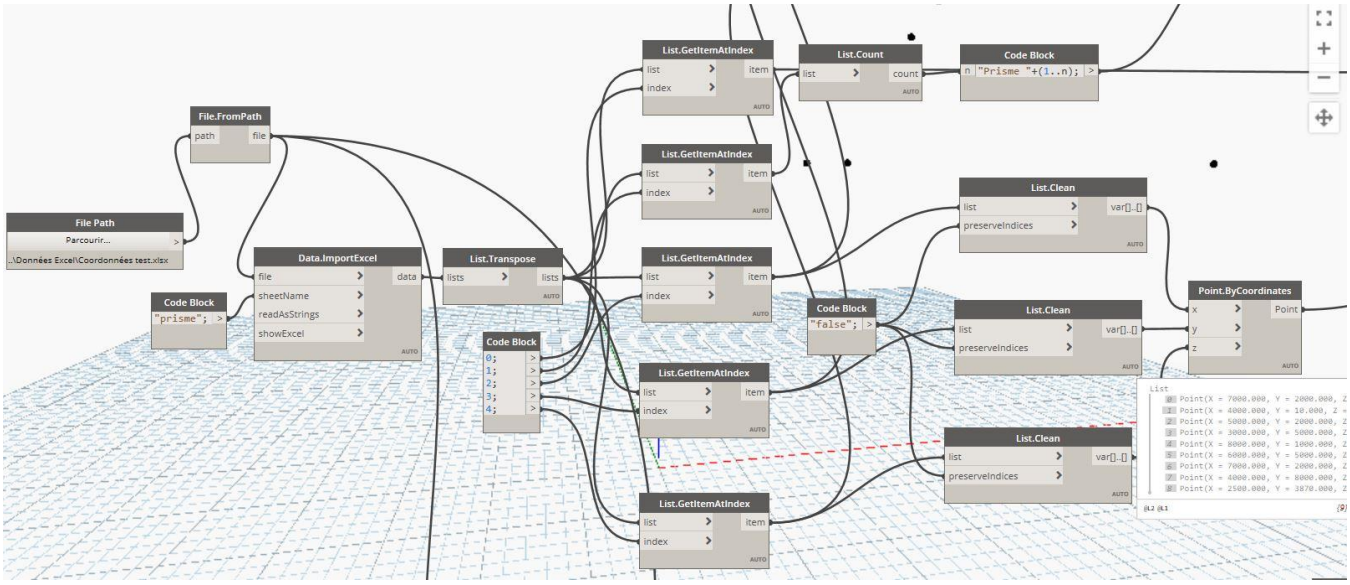


Figure 23: Script d'importation du fichier Excel et lecture de la feuille prisme (Source personnelle)

Après l'exécution du Script dynamo, les points s'affichent dans Revit sous la forme d'un point en couleur bleu. Afin de les distinguer, il faut affecter chacun d'entre eux à son modèle de famille. Alors on réalise un deuxième script sur Dynamo illustré dans la Fig.24.

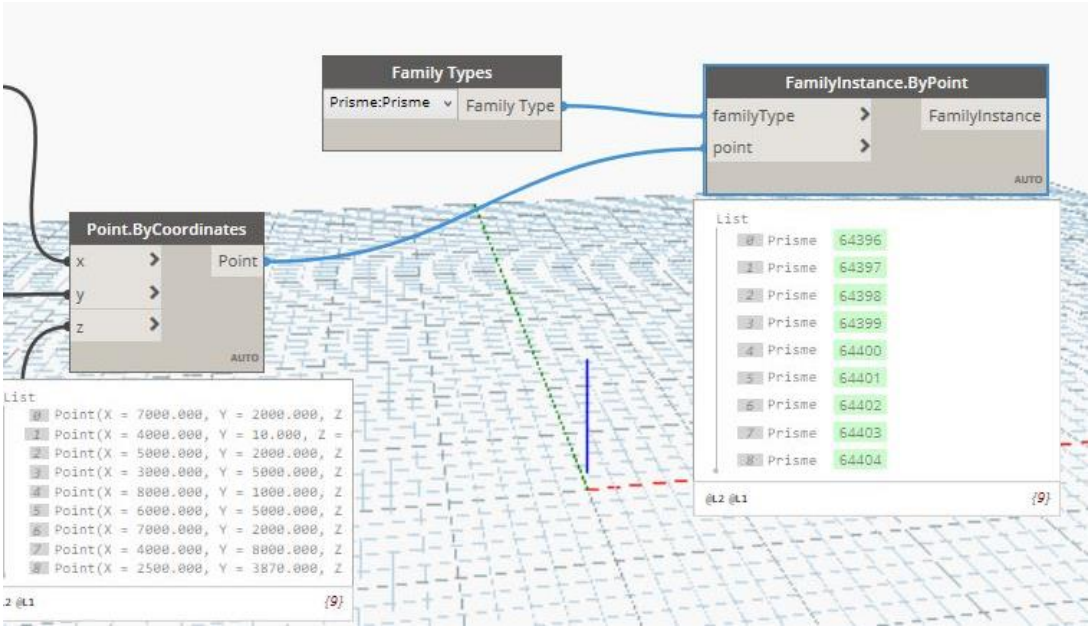


Figure 24: Script d'affectation de la famille prisme (Source personnelle)

II.3.3.3 Paramétrage des données d'identification des capteurs

Dans cette partie, nous allons ajouter d'autres paramètres d'identification pour pouvoir renseigner la maquette avec plus d'informations sur les capteurs. Les informations peuvent être le nom, la matricule de chaque élément, les coordonnées X, Y et Z ou un lien qui mène directement vers les courbes des séries temporelles des capteurs avec le paramètre intitulé « VDV », la plateforme de visualisation des séries temporelles en ligne.

Le premier script illustré dans la Fig.25 réalisé sur Dynamo montre le processus d'affectation de paramètre « Nom » .

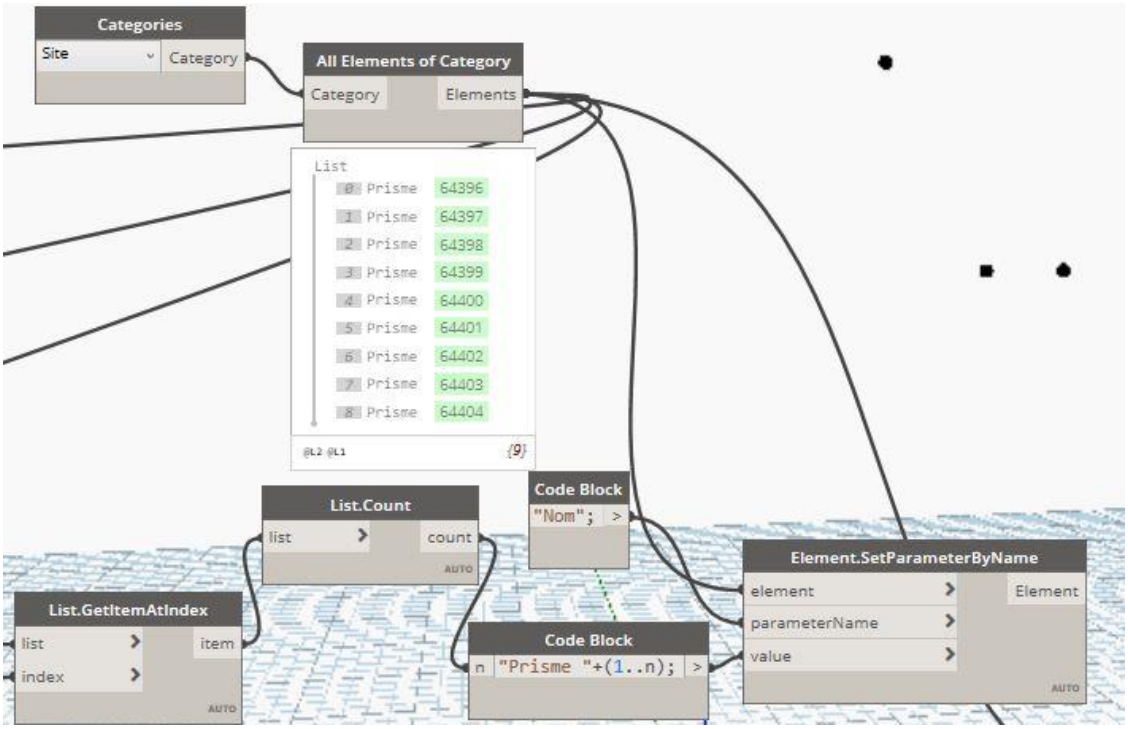


Figure 25: Script pour définir le paramètre NOM de l'élément (Source personnelle)

Le deuxième script réalisé sur Dynamo illustré dans la Fig.26 montre l'attribution du paramètre VDV.

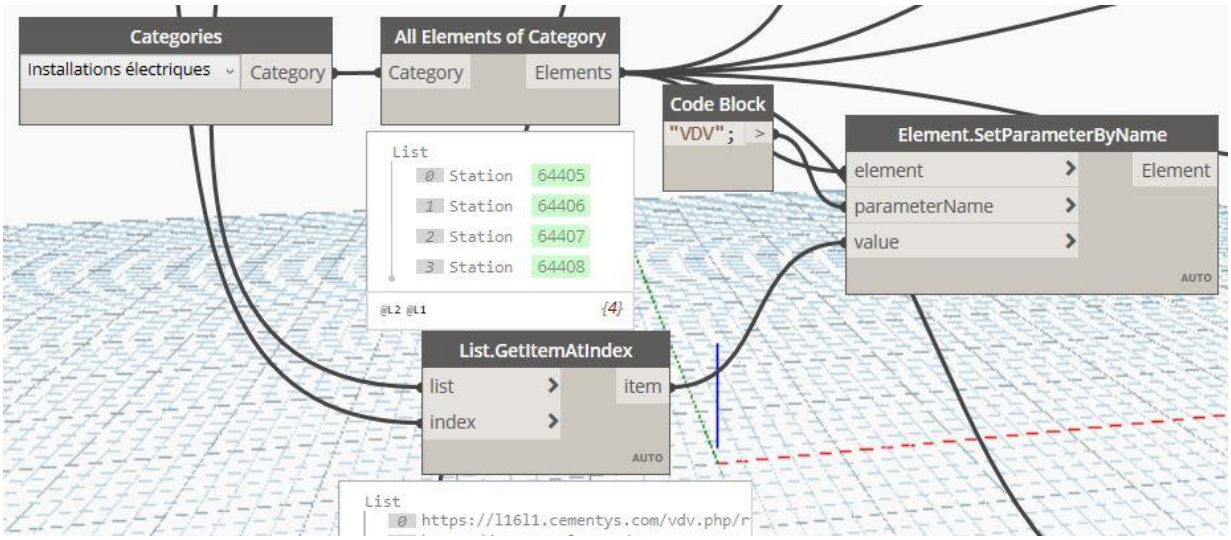


Figure 26: Script pour définir le paramètre VDV de l'élément (Source personnelle)

Le troisième script réalisé sur Dynamo illustré dans la Fig.27 montre l'affectation des coordonnées X,Y et Z à chaque capteur.

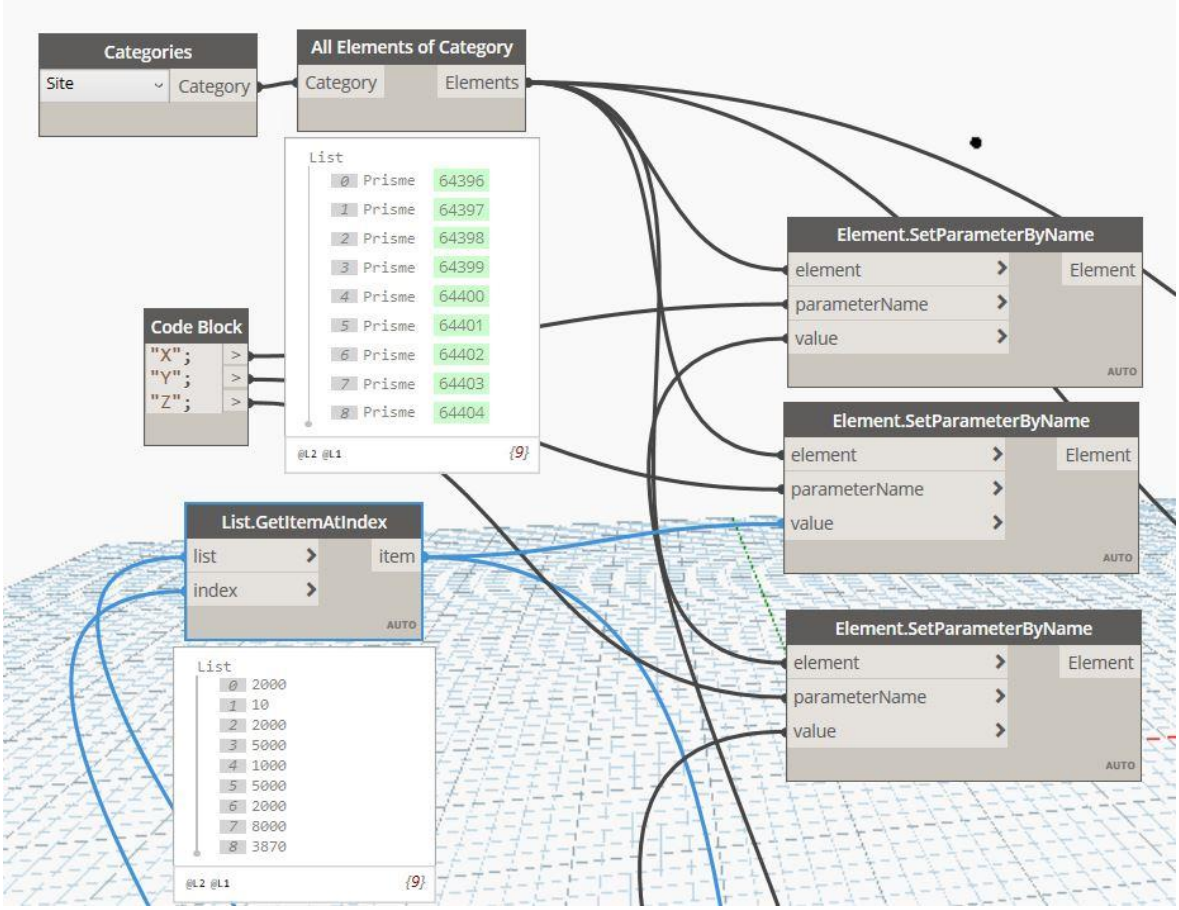


Figure 27: Script pour définir les paramètres XYZ de l'élément (Source personnelle)

Après l'exécution de ces trois scripts, tous les paramètres ajoutés s'affichent dans la colonne « données d'identification » de chaque capteur comme l'illustre la Fig.28.

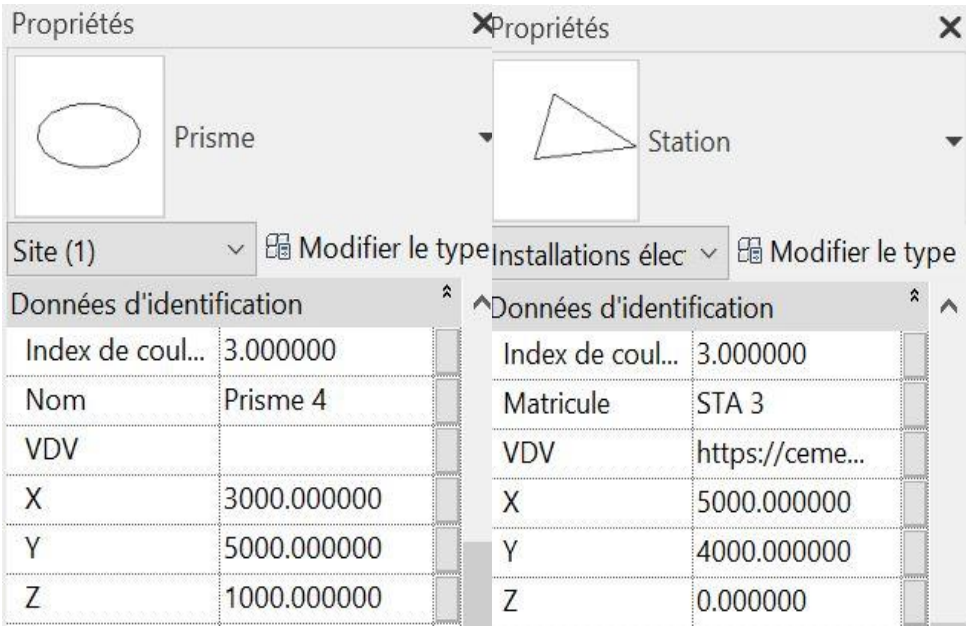


Figure 28: Onglet données d'identification (Source personnelle)

Pour le capteur « station météo », nous avons ajouté deux paramètres supplémentaires, un paramètre «image» qui contient le chemin qui mène au graphe de variation de température, humidité,…et un autre paramètre «données» qui mène au fichier Excel qui contient toutes les mesures de ces derniers.

Pour l'affichage du graphe des paramètres météo, nous avons procédé par deux méthodes différentes, la première consiste à attribuer dans le paramètre image un lien qui mène directement au graphe et la deuxième méthode consiste à la création d'une nomenclature avec des images. Une nomenclature est une autre vue du modèle comme le montre la Fig.29.

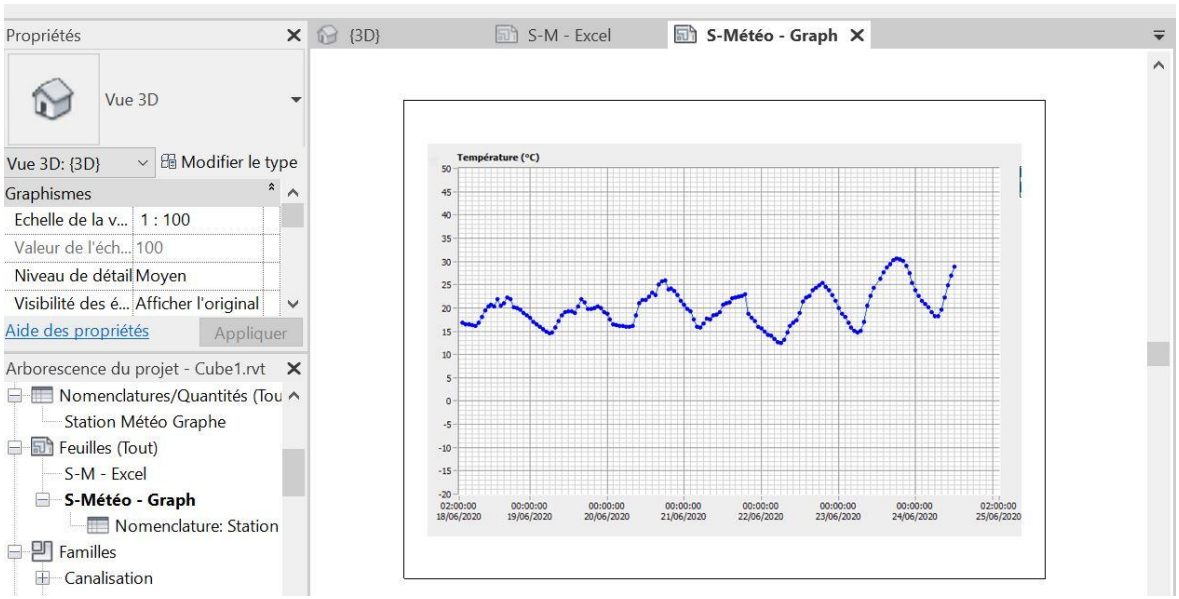


Figure 29: Nomenclature du paramètre température (Source personnelle)

II.3.3.4 Code couleur pour chaque groupe

Après toutes ces manipulations, on se retrouve avec une représentation de couleurs uniformes, c'est pour cela que l'étape suivante est importante. En effet, elle consiste à regrouper les captures en sous-groupes et attribuer des couleurs différents à chaque sous-groupe. Par exemple, on attribue à la station 1 qui vise les prismes 2 et 3 un code couleur. On commence d'abord par attribuer chacun un index (soit un nombre clé) comme le montre les Fig.30 et 31.

1	1	STA 1
2	2	STA 2
3	3	STA 3
4	4	STA 4

Figure 30: Index couleur station (Source personnelle)

	A	B
1	1	Prisme 1
2	2	Prisme 2
3	2	Prisme 3
4	3	Prisme 4
5	3	Prisme 5
6	4	Prisme 6
7	1	Prisme 7
8	4	Prisme 8
9	2	Prisme 9

Figure 31:Index couleur prisme(Source personnelle)

Tour d'abord, on réalise un script qui permet de définir le paramètre «index de couleur» et l'afficher dans la colonne données d'identification des capteurs. Ce script est illustré dans la Fig.32.

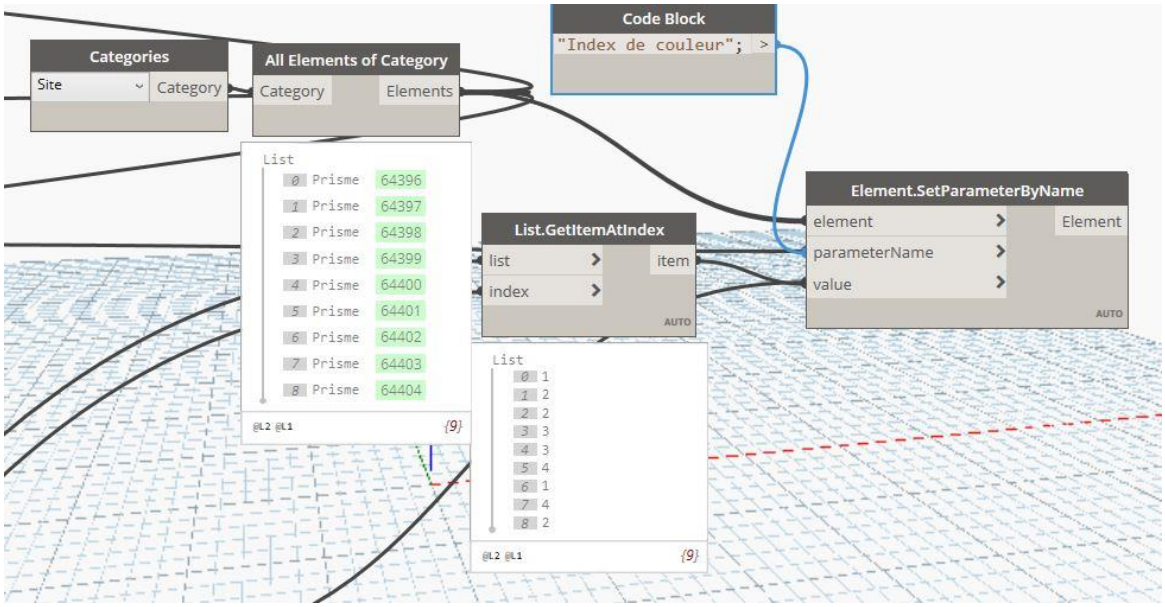


Figure 32: Script d'affectation de l'index au capteurs (Source personnelle)

Ensuite, on procède à la réalisation d'un autre script sur Dynamo qui va à son tour regrouper tous les éléments dans des sous-listes par valeurs clé-similaires. Finalement, il va attribuer à chaque sous-liste une couleur différente comme le montre la Fig.33.

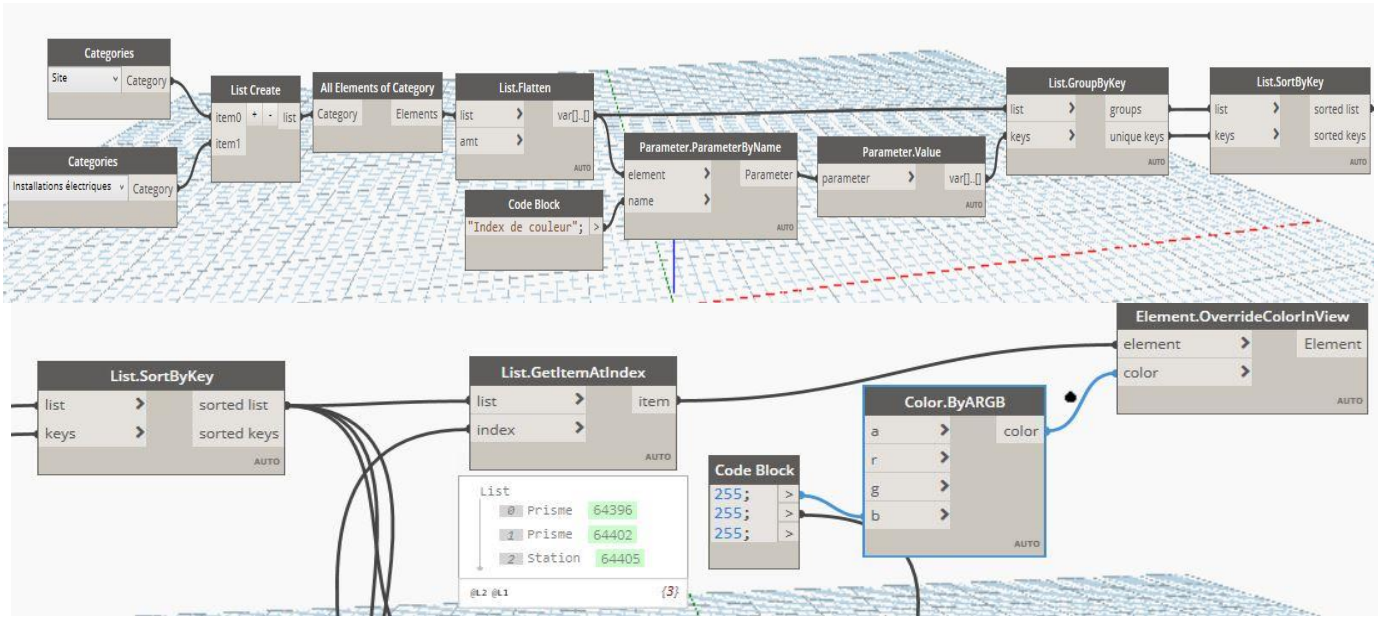


Figure 33: Script code couleur (Source personnelle)

A l’issu de ces différents scripts, l’affichage de ces capteurs se fait dans l’interface de Revit comme illustré dans la Fig.34.

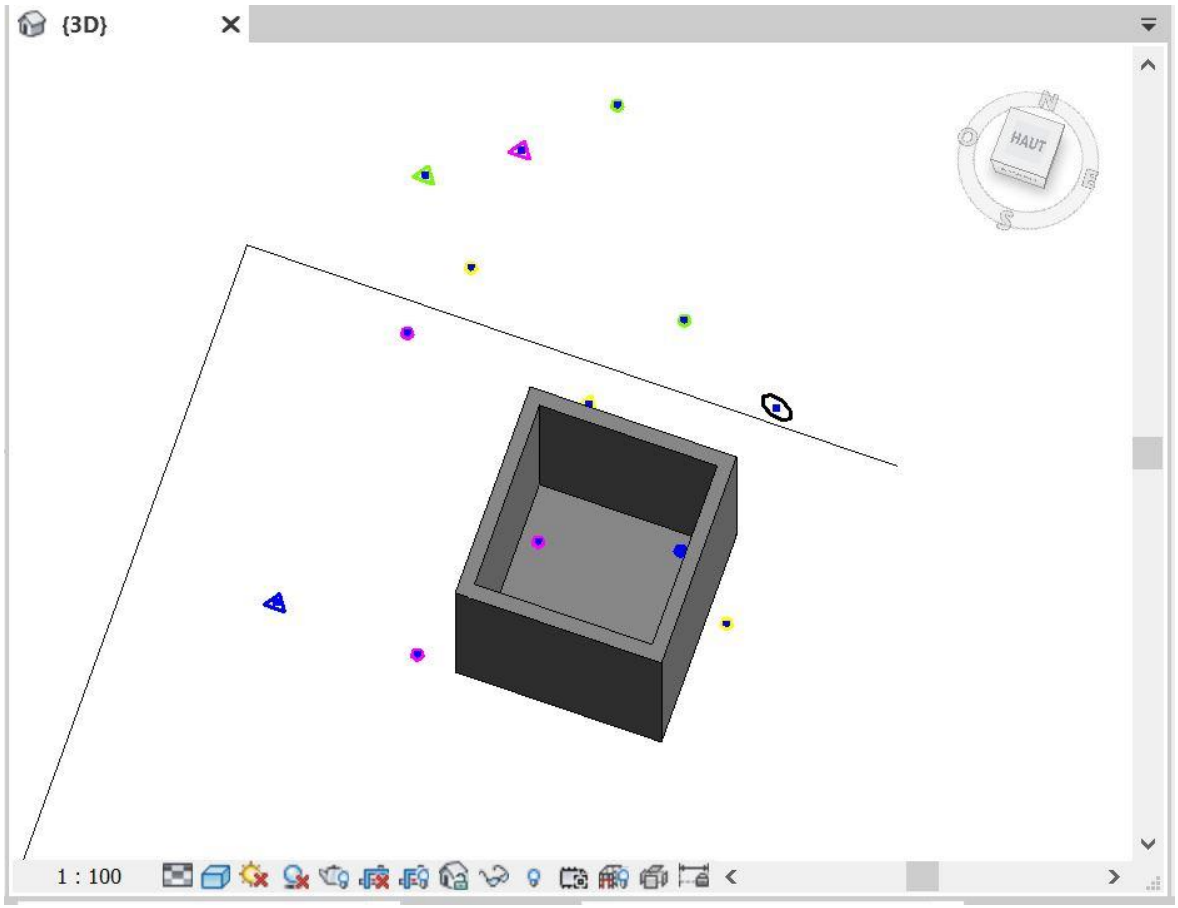


Figure 34: Résultat du modèle 3D sur Revit (source personnelle)

II.3.3.5 Gestion des alarmes paramétrées comme un moyen d’aide à la prise de décision dans le cas d’une contrainte ou déformation

Tout d'abord, les informations géométriques et sémantiques des composants du bâtiment sont obtenues à partir du modèle BIM. Ces informations peuvent être exportées depuis un système de gestion et affichées directement dans les modèles BIM. Dans l’interface utilisateur, le personnel peut directement vérifier l'état de chaque composant dans le modèle BIM tel que construit en cliquant sur le composant. Les informations correspondantes sont affichées dans l'interface utilisateur (propriétés du capteur), y compris le problème rencontré avec la description et son emplacement (étage et pièce).

Pour se faire, nous avons réalisé un script sur dynamo qui permet de changer la couleur du capteur défaillant en rouge en comparant la valeur du Z de chaque capteur à sa valeur seuil, la Fig.35 illustre la démarche suivie.

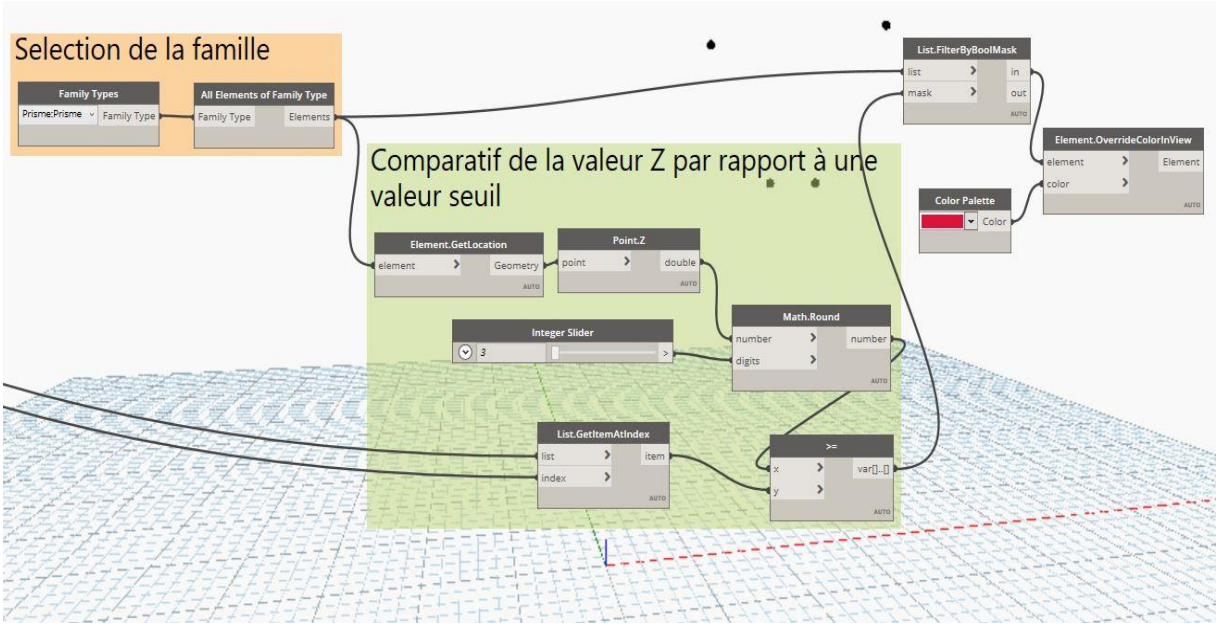


Figure 35: Script pour la gestion des alarmes (Source personnelle)

Pour améliorer encore notre résultat, nous allons afficher dans la colonne « contraintes » de chaque capteur la valeur du seuil à ne pas dépasser, l'état du capteur et la valeur du dépassement dans le cas où le seuil a été dépassé. Ces résultats vont permettre à l'utilisateur de visualiser l'état du capteur directement sur la maquette BIM ainsi que de lire toutes les valeurs correspondantes pour pouvoir analyser l'état de ces derniers et prendre les bonnes décision pour régler le problème au moment où il se présente. Pour se faire, nous avons réalisé un script pour les paramètres « Etat du capteur », « dépassement » et « valeur du seuil » (Voir annexe 1).

Après l'exécution de ces trois derniers scripts, les informations de chaque capteur seront visualisées dans l'onglet propriétés de Revit en cliquant sur chaque capteur. Le résultat est illustré dans la Fig.36.

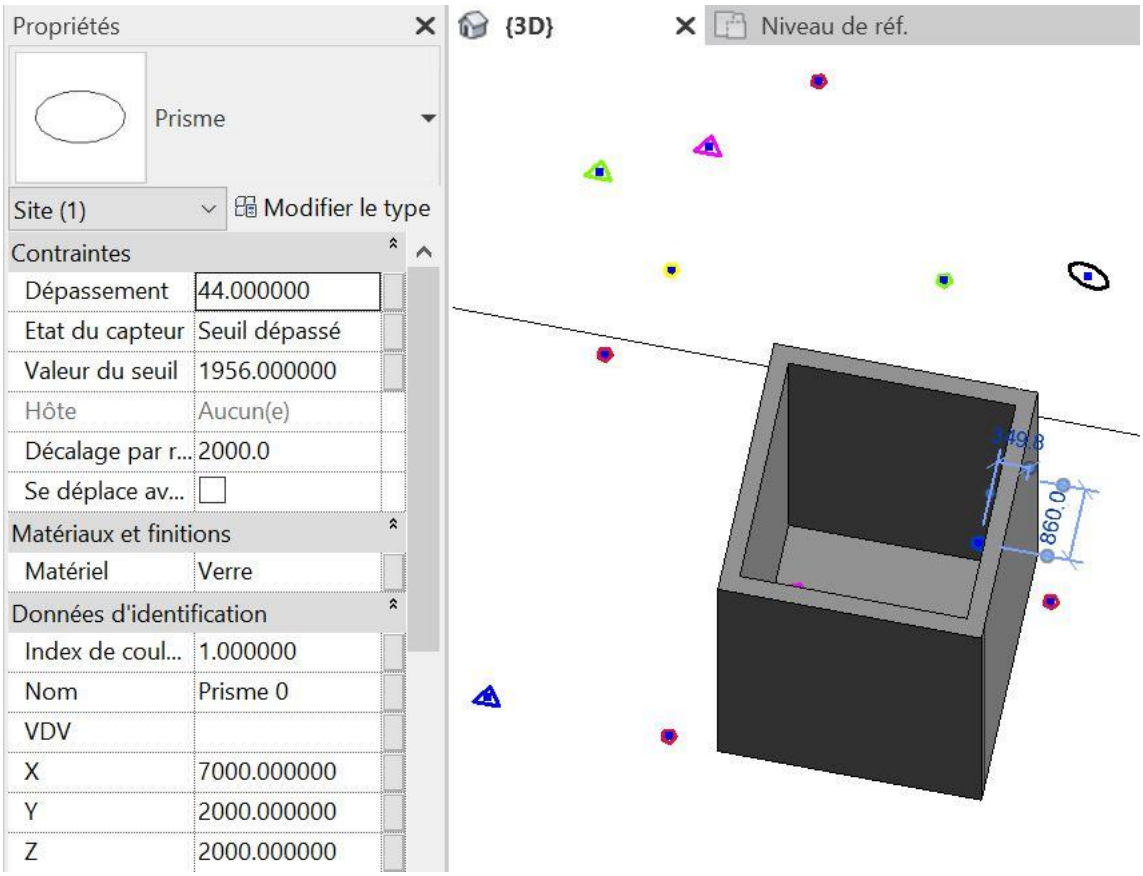


Figure 36: Résultat sur Revit (Source personnelle)

III Installation et configuration du système sur deux sites

Dans cette partie, nous allons présenter les différents sites sur lesquels nous avons appliqué notre modèle d'intégration des données et gestion des alarmes dans le cadre des compétences de Cementys pour la surveillances des ouvrages.

III.1 Gare Chevilly trois communes C3C du métro ligne 14

III.1.1 Présentation du projet L.14 de la société Grand Paris

La Société du Grand Paris est un établissement public à caractère industriel et commercial, elle est chargée de réaliser le Réseau de transport public du Grand Paris appelé Grand Paris Express, de conduire les opérations d'aménagement, de financer et d'établir les relations entre la Société du Grand Paris et les autres acteurs concernés.

Le projet GPE est le plus grand projet urbain en Europe, il ouvre de nouveaux horizons et crée de nombreuses opportunités d'emploi. Paris devient plus grand et bien desservi avec 200 km de lignes automatiques, (il double ainsi son rayon d'action) et 68

gares. Ce projet inédit a participé à la création de quatre nouvelles lignes 15, 16, 17 et 18, ainsi que la ligne 14 qui est prolongée du nord au sud, il participe à réduire la pollution. Ceci va diminuer l'utilisation des véhicules en offrant une meilleur desserte des aéroports, centres d'affaires et universitaires et les territoires métropolitains qui sont aujourd'hui difficiles d'accès. Il rapprochera ainsi chacun de son lieu de travail, rendra plus rapides les trajets du quotidien et facilitera pour tous l'accès à l'emploi, à la formation, à la culture et aux loisirs. Ce projet va transformer et densifier la ville (figure 37).

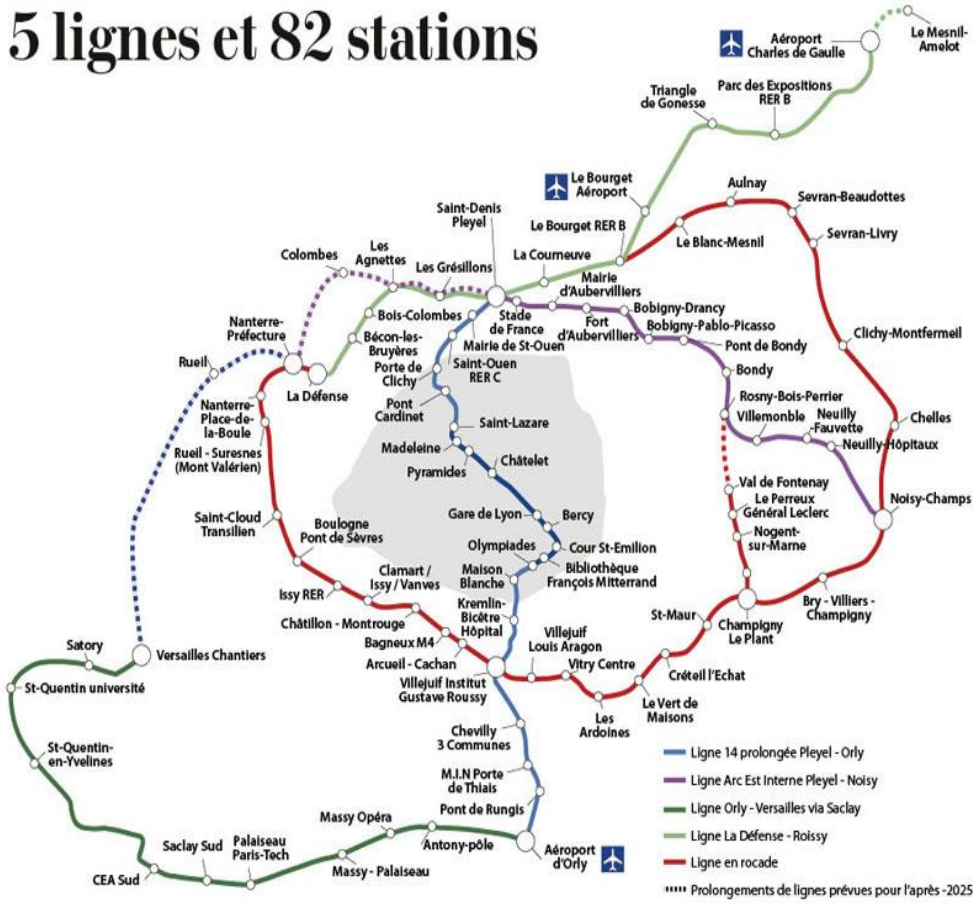


Figure 37: Projet du Grand Paris Express (Source okan germiyan, 2011)

Le projet de la ligne 14 fait actuellement l'objet de deux prolongements dont un au nord et un au sud (figure 38):

- Au nord, 5,8 km de tunnel supplémentaire desserviront en 2020 quatre nouvelles stations de Saint-Lazare à Mairie de Saint-Ouen.

- au sud, 14 km de tunnel en cours de construction connecteront 7 nouvelles gares du Grand Paris Express à la ligne 14, d'Olympiades à Aéroport d'Orly.

La ligne sera à nouveau prolongée au nord de Mairie de Saint-Ouen à Saint-Denis Pleyel en 2023 connectant ainsi la 14 aux autres lignes 15, 16 et 17 du GPE.

Au total, les 30 km de la ligne 14 vont desservir 21 stations d'ici l'horizon de 2024.

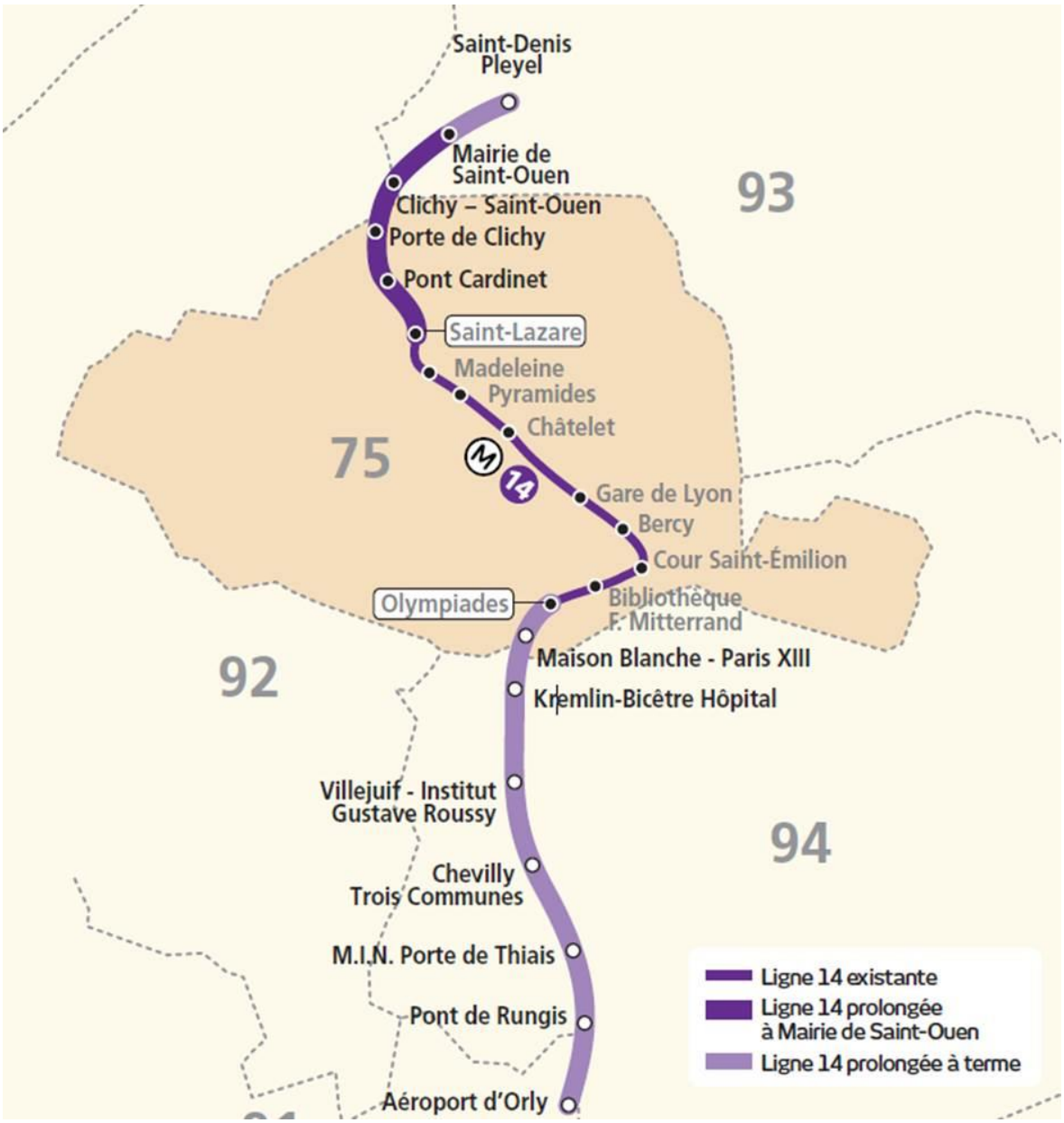


Figure 38: Prolongement de la Ligne 14 (Source : Objectif Grand Paris, 2018)

III.1.2 Localisation de la gare C3C

La gare Chevilly Trois-Communes est implantée sur le territoire de la commune de L'Haÿ-les-Roses, au croisement de la rue de Bicêtre, de la rue de Lallier et de la rue Paul-Hochart. (Voir annexe 2).

Elle est constitué d'un parvis qui s'ouvre sur la rue de Bicêtre. La gare se situe également à proximité de plusieurs zones d'activité et d'emploi sur le territoire des trois communes concernées, ainsi que de la partie sud de l'opération "Campus Grand Parc".

La conception du bâtiment est confiée à l'agence Franklin Azzi Architecture et la maîtrise d'œuvre est assurée par Elios (figure 39).

Ce projet a permis également de créer 7 000 emplois dans un rayon de 1 km autour de la gare. Sa construction accompagne le programme de renouvellement urbain avec 5 000 habitants dans un rayon de 1 km autour de la gare.

Figure 39: Perspective de l'entrée de la gare C3C (Source : Franklin Azzi Architecture, 2018)

III.1.3 Application du modèle

Dans cette partie, nous allons appliquer notre modèle précèdent d'intégration des données de capteurs sur la maquette Revit de la gare C3C dont on dispose.

Pour pouvoir ausculter la gare, et puisqu'il est impossible de poser une station et des prismes, nous avons opté pour une autre méthode d'auscultation qui consiste à poser des extensomètres à corde vibrante à l'intérieur des parois. « les extensomètres à corde vibrante ont pour objectif de mesurer la déformation d'un élément d'ouvrage par la mesure de la variation de fréquence d'une corde tendue à l'intérieur du corps du capteur. La déformation est définie comme le rapport de la variation de la longueur de la corde à sa longueur initiale. » comme indiqué par (Les collections de l'Ifsttar, Guide Auscultation Ouvrage Art-Cahier Interactif Ifsttar, octobre 2015, FicheC3-7, p.1). La figure 40 montre la maquette numérique de la gare avant application du modèle.

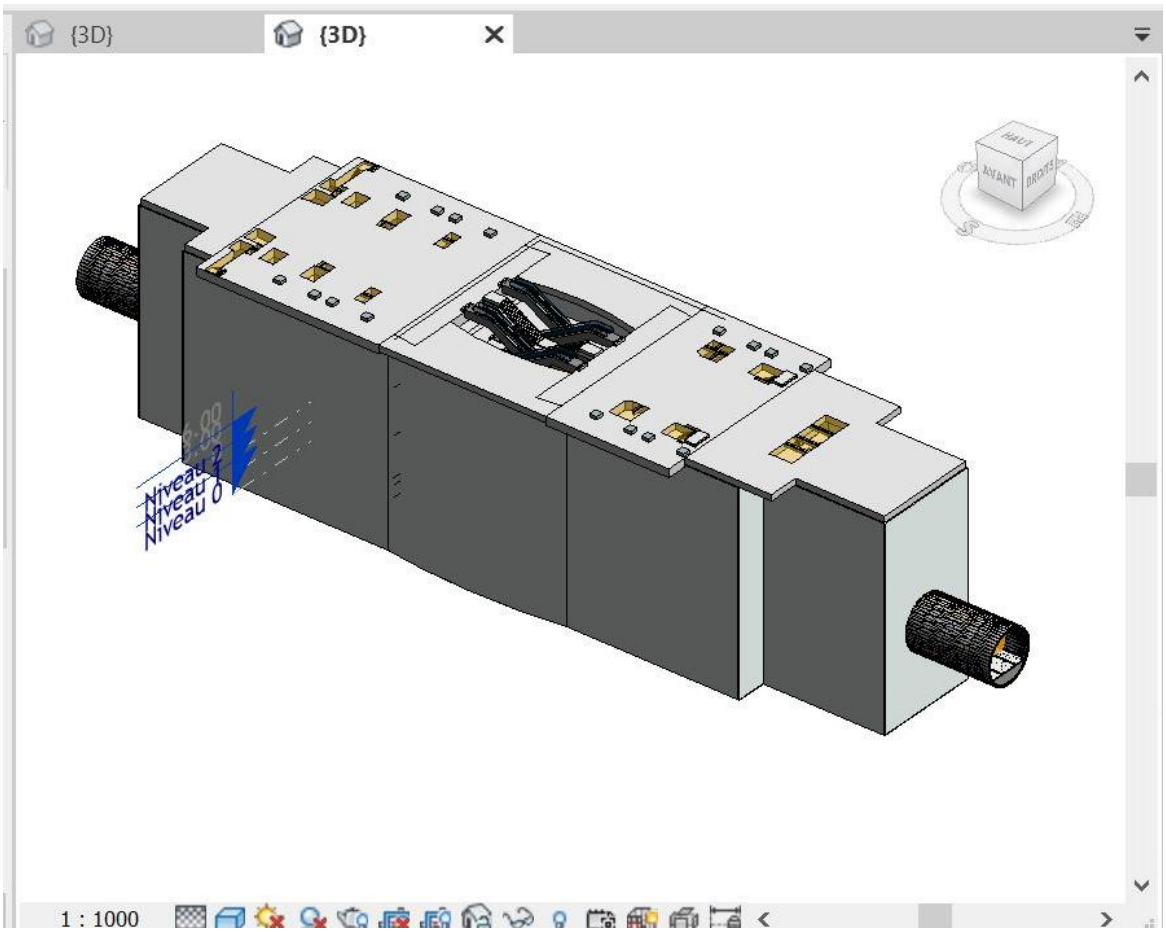


Figure 40: La maquette BIM de la gare C3C avant application du modèle (Source: Cementys)

Tout d'abord, nous avons commencé par modéliser le capteur « extensomètre » et créer une famille correspondante à ce type de capteur comme le montre la Fig.41.

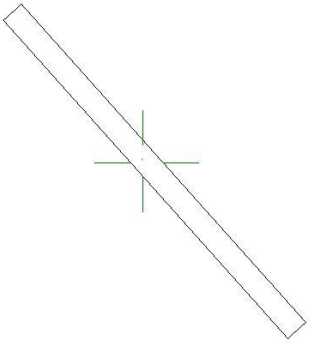


Figure 41: Famille extensomètre (Source personnelle)

Ensuite nous avons préparé les données à intégrer en préparant un fichier Excel qui contient toutes les coordonnées des extensomètres et les valeurs de seuils correspondantes. Puis, nous avons procédé comme indiqué dans la partie 2 en appliquant la même démarche d'importation des données dans la maquette BIM.

L'exécution du programme de gestion des alarmes permet finalement la visualisation des dépassements de seuil (figure 42).

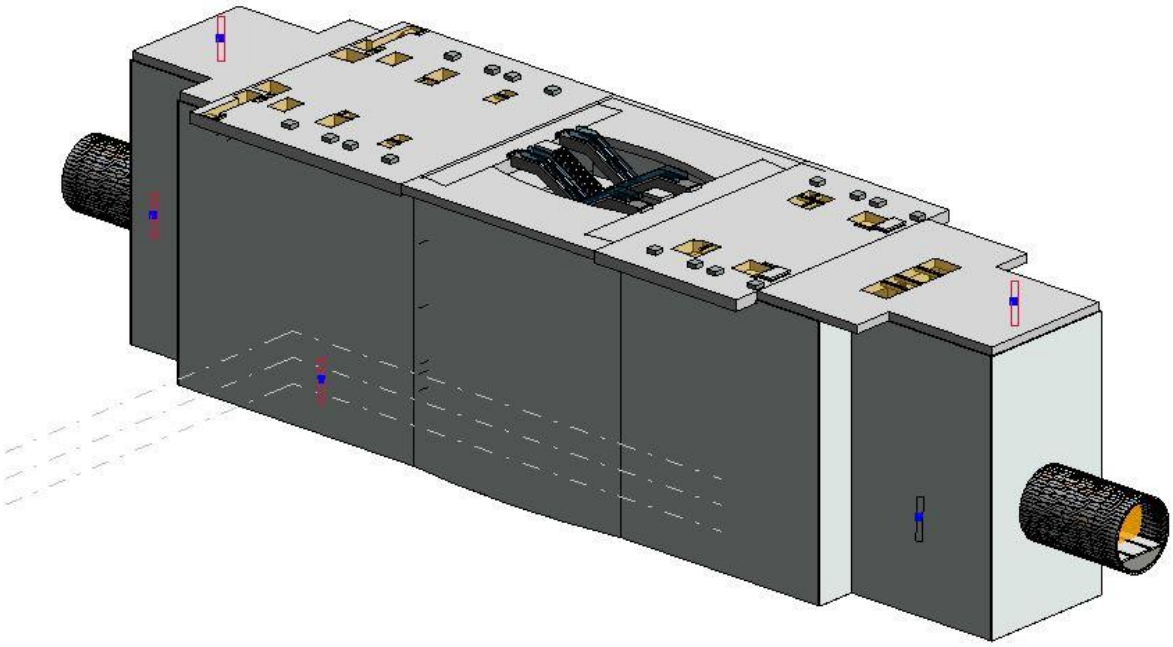


Figure 42: La maquette BIM de la gare C3C après affichage des alarmes (Source personnelle)

III.2 Siège social de Cementys

III.2.1 Acquisition et géoréférencement des données

Dans cette partie, nous allons importer les données de capteurs sur un autre type de modèle qui consiste en un nuage de points du siège social de Cementys réalisé par Cementys avec un Scanner laser type Z+F imager 5016 en balayant toute la zone à modéliser avec une résolution moyenne. Nous avons réalisé 11 stations réparties autour du siège ce qui nous a permis d'avoir 11 nuages de points assemblé en un seul avec la méthode cloud-to-cloud. Cela consiste à utiliser des zones communes entre chaque nuage acquis depuis les différentes stations. Ensuite, nous avons réalisé un nettoyage en filtrant les points imprécis en utilisant le logiciel Z+FLasercontrol.

Pour géo-référencer le nuage de points, nous avons utilisé on a des cibles black and white réparties sur les façades de Cementys. Les coordonnées de ces cibles sont connues en CC49. Elles ont été déterminé à l'aide d'une station totale et de plusieurs points GPS ce qui nous permet d'obtenir un nuage de points géoréférencé au format « .las ». Pour pouvoir l'importer sur Revit, il est nécessaire de le convertir au format rvt ou rcp ou rcs. Nous avons dû passer par Recap Pro pour le convertir au format adéquat (figure 43).

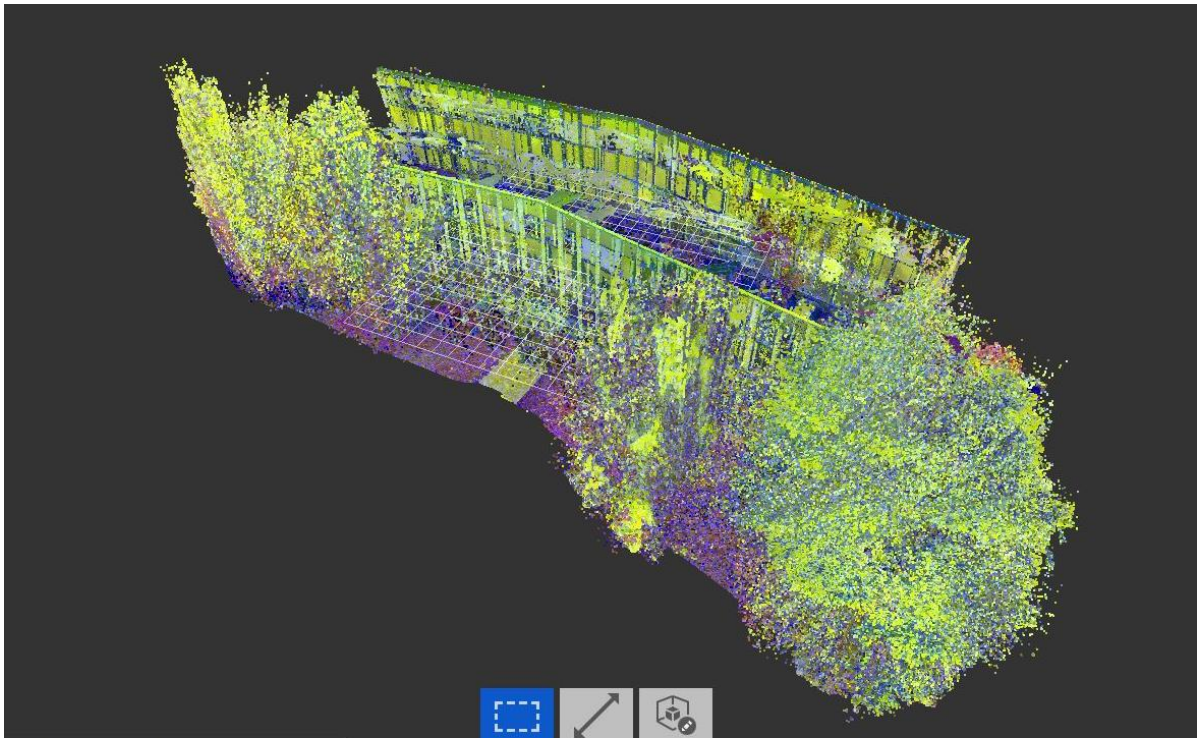


Figure 43: Nuage de points du siège de Cementys (Source personnelle)

III.2.2 Importation des données

Pour pouvoir intégrer les données des capteurs dans le nuage de points du siège social de Cementys sur, Revit, nous commençons tout d'abord par préparer le fichier des données. Dans notre cas ce fichier va contenir la position des capteurs ainsi que la valeur de contraintes à ne pas dépasser. Ensuite nous procédons à l'exécution de chaque programme visuel que nous avons développé dans Dynamo (dans la partie précédente) en parcourant le fichier Excel correspondant à nos données. Cela va permettre d'afficher les capteurs ainsi que l'attribution de famille à chaque type différent de capteurs. De cette manière, nous pouvons visualiser toutes les données ainsi que l'état de chaque capteur qu'il soit en bonne état ou qu'il présente un dépassement du seuil avec la distinction de couleur (couleur rouge). La Fig.44 montre le résultat obtenu.

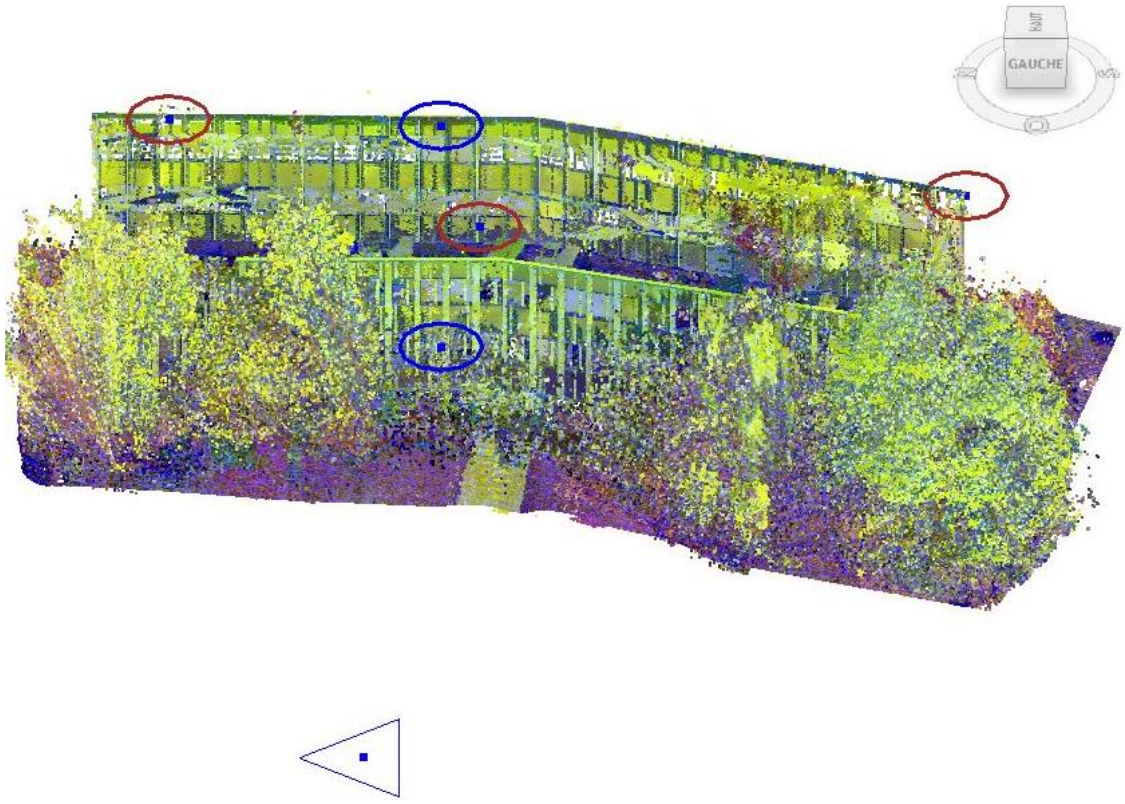


Figure 44: Siège social de Cementys après application du modèle (Source personnelle)

III.3 Perspectives

III.3.1 Sur la visualisation des alarmes

Nous pourrions envisager de travailler sur une autre méthode de visualisation des alarmes qui consiste à développer un programme permettant de signaler le dépassement du seuil par les capteurs sous forme de pop-up. C'est une fenêtre secondaire qui permet d'informer l'utilisateur et l'alarmer.

Cette solution permet d'être informé de tous les changements qui peuvent affecter l'état des capteurs sans même avoir besoin de l'interface Revit ouverte en premier plan. Ces pop-up apparaissent sur l'écran et contiennent un message que nous définissons comme par exemple « Attention seuil dépassé par le capteur prisme 1 », de cette façon l'identification du problème sera rapide et permettra une intervention immédiate des techniciens.

III.3.2 Sur la modélisation des capteurs

Pour mieux développer l'aspect visuel de notre maquette BIM ainsi que l'affichage des capteurs en modèle 3D, nous avons modélisé un modèle de capteur de surveillance propre à Cementys.

Ce modèle peut être intégré dans la maquette sous forme de famille pour représenter les capteurs dans la maquette numérique. La Fig.45 montre le modèle réalisé par Cementys.

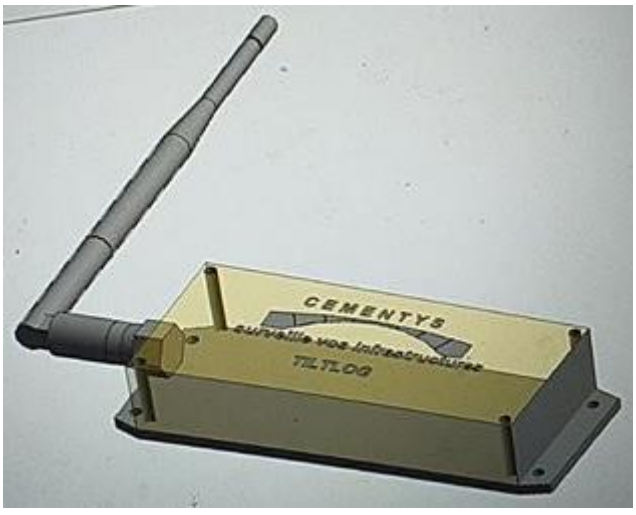


Figure 45: Modèle 3D de capteur de surveillance (Source: Cementys)

Conclusion

L’apparition de la modélisation 3D des bâtiments et l‘intérêt des clients pour cette nouvelle technologie poussent la profession de géomètre à s’adapter aux nouveaux outils de travail. La maquette numérique 3D ne cesse de se démocratiser dans les grands projets de constructions neuves ou les constructions de réhabilitations. Ces projets de grande envergure nécessitent une force du travail collaboratif entre plusieurs personnes, ce qui change totalement la manière de concevoir, de construire et d’exploiter un bâtiment. Le processus traditionnel rend la réalisation du travail plus compliquée. C’est pour cette raison que tous les intervenants et spécialement les géomètres doivent prendre le train du BIM.

Le BIM présente aujourd’hui une révolution dans le monde du bâtiment et des travaux publics, il contribue à une construction de meilleure qualité, une bonne maîtrise du budget, une maîtrise des délais de construction et une meilleure collaboration entre les différents acteurs qui interviennent sur la même maquette d’un ouvrage.

Aujourd’hui, en France, l’utilisation du BIM s’accélère et devient un enjeu majeur dans la conception, la construction et l’exploitation d’un bâtiment. Cet outil permet de résoudre des enjeux environnementaux, la gestion de l’entretien des bâtiments, la planification automatique du travail de maintenance, la détection des éléments défaillants pour l’électricité, la climatisation,… ainsi que l’auscultation des bâtiments.

Dans le cadre des grands projets de la Société Grand Paris, Cementys est amenée à réaliser l’auscultation des ouvrages sur lesquels elle intervient.

Ce travail de fin d’études avait pour objectif le développement d’une méthode d’intégration systématique des capteurs dans le BIM pour les constructions durables afin d’arriver à une solution basée sur la visualisation des données de capteurs sur BIM. Il utilise l’indice des alarmes paramétrés comme un moyen de prise de décision pour les capteurs présentant des contraintes.

J’ai travaillé au sein de Cementys Palaiseau afin de réaliser cette méthode d’intégration des données en utilisant l’outil de programmation Dynamo Player intégré dans Revit Autodesk qui est privilégié dans le secteur de la construction et propose des outils intéressants pour une telle opération.

Un effort d'adaptation est nécessaire pour les utiliser et les adapter à nos besoins. Cette automatisation rencontre également des limites. Chaque situation dispose de contraintes qui lui sont propres. Le professionnel doit être attentif aux données qu'il utilise et intègre dans la maquette car la structuration, l'unification et l'organisation de nos données restent un enjeu majeur pour aboutir à un résultat optimal.

Afin de répondre aux besoins de Cementys, une solution d'automatisation est nécessaire pour pouvoir intégrer les données de chaque type de capteur dans la maquette BIM d'une manière systématique et afficher les paramètres dans les propriétés de chaque élément. Ceci permet la visualisation directe des données sur la maquette 3D d'une manière à pouvoir suivre l'évolution d'état du capteur et être alarmé en tant qu'utilisateur en cas de dépassement de seuil. Cette méthode de gestion nous permet d'optimiser le temps d'intervention pour réparer le problème et trouver une solution optimale dans les meilleurs délais.

Cette étude a confirmé le potentiel de l'automatisation de la modélisation 3D des capteurs de surveillances et leur intégration dans une maquette BIM ainsi que l'automatisation des tâches répétitives pour l'intégration des données. Cependant, l'étendu du BIM ne s'arrêtera pas ici, il devient de plus en plus répandu dans le secteur du bâtiment, nous l'utilisons pour la gestion des renseignements environnementaux, l'intégration des données juridiques dans le domaine de la Copropriété, Bornage, Divion en volumes, etc. Il représente un outil important pour le géomètre-expert.

Par ce travail, j'ai pris conscience de l'importance du développement d'outils pour permettre l'automatisation de tâche. Grâce à la programmation visuelle, j'ai pu dépasser mes limites que j'avais, jusque ici, rencontrées dans ce domaine. Sans doute, d'un point de vue personnel, ce TFE m'a permis de m'enrichir, de développer mes connaissances et de découvrir de nouvelles perspectives dans le métier de géomètre.

Bibliographie

Travaux universitaires

Maud LAURENCIN, 2017. L'intégration des données complémentaires (données foncières, division en volume, environnement) au sein de maquettes numériques au format Revit. Identification, Aménagement et gestion du Foncier, ÉCOLE SUPÉRIEURE DES GÉOMÈTRES ET TOPOGRAPHES, 64 p.
Disponible sur : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01657137>. (consulté le 18/02/2020).

Romain EZANNIC, 2016. Intégration des données foncières et juridiques dans un processus BIM: analyse de la plus-value apportée par le géomètre-expert et enjeux pour la profession. BIM, ÉCOLE SUPÉRIEURE DES GÉOMÈTRES ET TOPOGRAPHES, 78 p.
Disponible sur : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01688536>. (consulté le 18/02/2020).

BLACHERE Julien, 2015. Building Information Modeling Interopérabilité des logiciels de CAO et de calculs de structure. GENIE CIVIL , Ecole d'ingénieur eicnam, 104 p.
Disponible sur : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01729324>. (consulté le 18/02/2020).

Chen, Weiwei, 2019. Integration of building information modeling and internet of things for facility maintenance management. Civil and Environmental Engineering, Hong Kong University of Science and Technology, 175 p.
Disponible sur :
<https://lbezone.ust.hk/pdfviewer/web/viewer.php?file=aHR0cHM6Ly9sYmV6b25lLnVzdC5oay9vYmovMS9vLzk5MTAxMjcxMTA2NTgwMzQxMi85OTEwMTI3MTEwNjU4MDM0MTIucGRm#page=1>. (consulté le 24/02/2020).

Articles de périodiques électroniques

Valinejadshoubi, M., Bagchi, A., Moselhi, O. Development of a BIM-Based Data Management System for Structural Health Monitoring with Application to Modular Buildings. Case Study. Journal of Computing in Civil Engineering, [en ligne], 2019, 33, 3.
Disponible sur : <https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000826>. (consulté le 12/05/2020)

Chang, K.-M., Dzeng, R.-J., Wu, Y.-J. An Automated IoT Visualization BIM Platform for Decision Support in Facilities Management. Appl. Sci, [en ligne], 2018, 8, 7. Disponible sur : <https://doi.org/10.3390/app8071086>. (consulté le 12/05/2020)

Dave, B., Buda, A., Nurminen, A., Främling, K. A framework for integrating BIM and IoT through open standards. Automation in Construction, [en ligne], 2018, 95. Disponible sur : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580517305964>.(consulté le 12/05/2020)

Sites web

Comité éditorial. Le BIM en France: ou en est-on ?, [en ligne]. Disponible sur : <https://www.blog-logiciel-btp.com/le-bim-en-france-ou-en-est-on>. (consulté le 27/02/2020)

Frédéric Gillion, Pinsent Masons. Maquette numérique : comment adapter les contrats de construction au BIM, [en ligne]. Disponible sur : <https://www.lemoniteur.fr/article/maquette-numerique-comment-adapter-les-contrats-de-construction-au-bim.1419709>. (consulté le 18/02/2020)

DIAGORA. QU'EST-CE QUE L'IOT ET POURQUOI MENER UNE STRATÉGIE D'IOT ?, [en ligne]. Disponible sur : <https://www.digora.com/fr/blog/definition-iot-et-strategie-iot>. (consulté le 24/02/2020)

BATIMENT NUMERIQUE. PTNB, [en ligne]. Disponible sur : <http://www.batiment-numerique.fr/PTNB/notre-organisation.htm>. (consulté le 10/03/1020)

BIBLUS. Le BIM en France : une diffusion complète à l'horizon 2022 grâce à la plateforme publique KROQI, [en ligne]. Disponible sur : <http://biblus.accasoftware.com/fr/le-bim-en-france-une-diffusion-complete-a-lhorizon-2022-grace-a-la-plateforme-publique-kroqi/>. (consulté le 10/03/2020)

Stéphane Garreau, RATP – Directeur des prolongements nord et sud de la ligne 14. Prolongement d'Olympiades à Aéroport d'Orly de la ligne 14 du métro, [en ligne]. Disponible sur : <https://prolongementligne14-orly.fr/#lignes/14SU>. (consulté le 18/08/2020)

Collection cahiers interactifs de l'Ifsttar. MÉTHODES D'AUSCULTATION DE LA STRUCTURE, [en ligne]. Disponible sur : <https://www.ifsttar.fr/collections/CahiersInteractifs/CII1/pdfs/FicheC3-7-Guide_Auscultation_Ouvrage_Art-Cahier_Interactif_Ifsttar.pdf>. (consulté le 01/09/2020)

AUTODESK. Le Dynamo Primer, [en ligne]. Disponible sur <https://www.dynamoprimer.com/>. (consulté le 24/02/2020)

Portail national de ressources-éduscol . Bim - Bouygues Construction et le CSTB présentent l'Analyse de Cycle de Vie des bâtiments, [en ligne]. Disponible sur : <https://eduscol.education.fr/sti/ressources_techniques/bim-bouygues-construction-et-le-cstb-presentent-lanalyse-de-cycle-de-vie-des#description>. (consulté le 24/02/2020)

okan germiyan. Grand Paris Express : la future carte du super métro, [en ligne]. Disponible sur : <https://okan-germiyan.com/2011/05/16/grand-paris-express-la-future-carte-du-super-metro/>. (consulté le 22/07/2020)

levels3d. Le BIM dans le monde, où en sommes-nous ?, [en ligne]. Disponible sur : <https://levels3d.com/news/bim-dans-le-monde/>. (consulté le 22/07/2020)

capgemini. Real Estate Transformation, [en ligne].Disponible sur : <https://www.capgemini.com/fr-fr/service/invent-real-estate-transformation/>. (consulté le 18/05/2020)

MICHAEL KILKELLY . Premiers pas avec Revit Automation, [en ligne]. Disponible sur : <https://archsmarter.com/revit-automation/>. (consulté le 18/02/2020)

Vincent Bleyenheuft. Les niveaux du BIM ou Level of BIM - Partie 1, [en ligne]. Disponible sur : <https://www.hexabim.com/blog/les-niveaux-du-bim-ou-level-of-bim-partie-1>. (consulté le 18/02/2020)

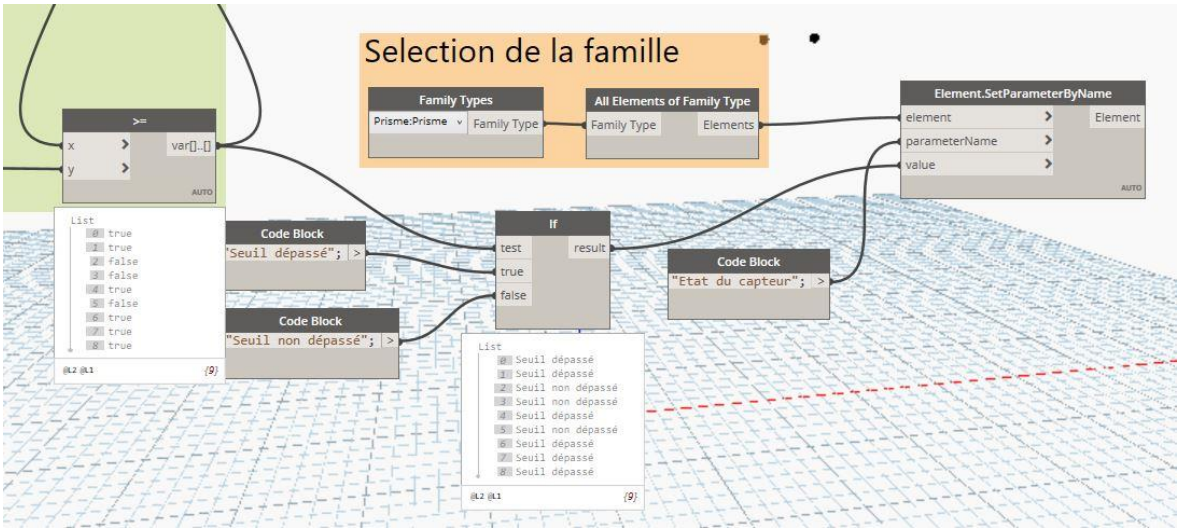
Objectif grand paris . Coup d’envoi des travaux de génie civil pour le prolongement sud de la ligne 14, [en ligne]. Disponible sur : <https://objectifgrandparis.fr/coup-denvoi-des-travaux-de-genie-civil-pour-le-prolongement-sud-de-la-ligne-14/>.(consulté le 18/08/2020)

FRANKLIN AZZI ARCHITECTURE. C3C_GARE CHEVILLY TROIS-COMMUNES, [en ligne]. Disponible sur : <http://www.franklinazzi.fr/projets/c3c_gare-chevilly-trois-communes>. (consulté le 18/08/2020)

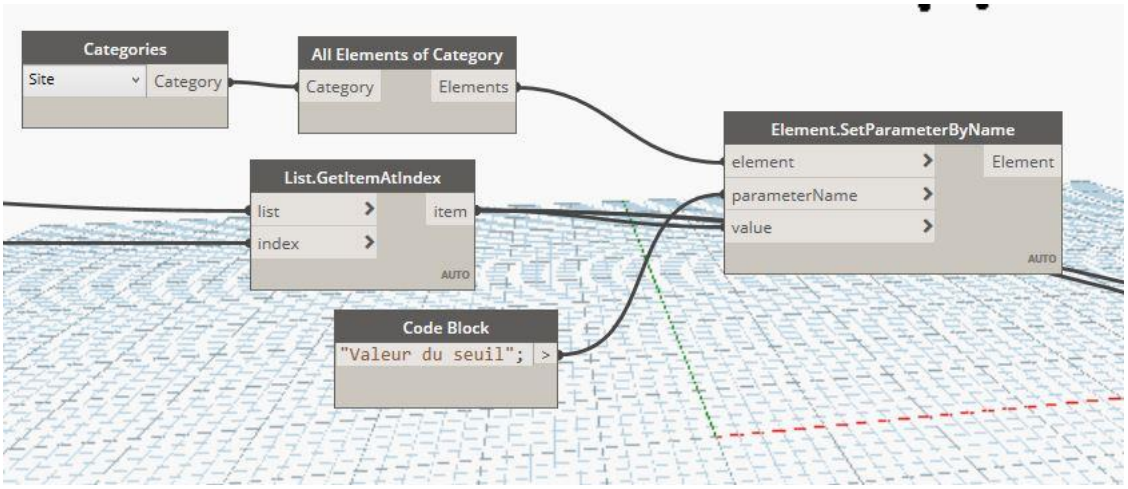
Table des annexes

Annexe 1 Scripts pour les paramètres de contraintes 52
Annexe 2 Gare Chevilly Trois communes 53

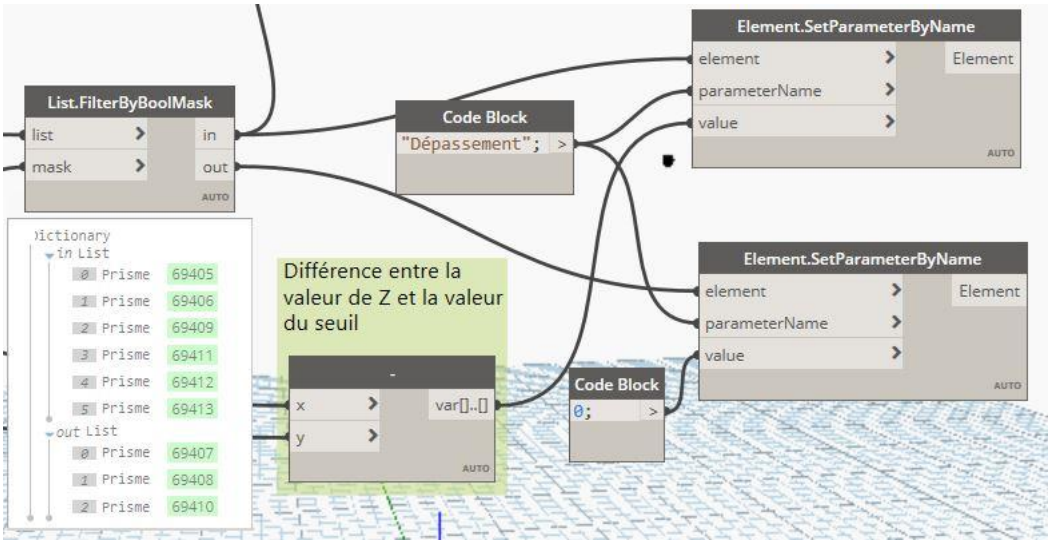
Annexe 1
Scripts pour les paramètres de contraintes



Script pour définir le paramètre «Etat du capteur »



Script pour définir le paramètre «Valeur du seuil »



Script pour définir le paramètre « Dépassement »

Annexe 2
Gare Chevilly Trois communes

Liste des figures

Figure 1: Plan du GPE (Source : Cementys) 8
Figure 2: Cycle de vie d'un bâtiment (Source : Emmanuel HOLTZ, 2016) 10
Figure 3: Bénéfices et avantages du BIM pour la France (Source: AEC&ITMEDIA, 2018) 10
Figure 5: Le BIM dans le monde (Source : levels3d, 2018) 13
Figure 6: Lien entre BIM, IoT et FMM (Source: Capgemini, 2020) 16
Figure 7 : Etapes d'intégration des données de capteurs (Source : (Chang et al., 2018)) 17
Figure 8 : Hiérarchie des étapes (Source : (Valinejadshoubi al., 2019)) 20
Figure 9 : Fissuromètre (Source : Cementys) 22
Figure 10 : Station totale robotisée (Source : Cementys) 22
Figure 11 : Données XYZ des stations (Source : base de données personnelle) 23
Figure 12: Données XYZ des prismes et de la station météo (Source : base de données personnelle) 23
Figure 13: Interface de Dynamo (Source : MICHAEL KILKELLY, 2015) 24
Figure 14: Plug-in Dynamo dans Revit (Source : Autodesk) 25
Figure 15: Lancement Dynamo (Source : Autodesk) 25
Figure 16: Dynamo Player dans Revit (Source : Autodesk) 26
Figure 17: Schéma de la station 26
Figure 18: Schéma de la station météo 26
Figure 19: Schéma du prisme 26
Figure 20: Propriété de famille Revit (Source personnelle) 27
Figure 21: Création du paramètre type famille (Source personnelle) 27
Figure 22: Onglet Import\export dans Dynamo (Source :Dynamo Player) 28
Figure 23: Script d'importation du fichier Excel et lecture de la feuille prisme (Source personnelle) 28
Figure 24 : Script d'affectation de la famille prisme (Source personnelle) 29
Figure 25 : Script pour définir le paramètre NOM de l'élément (Source personnelle) 30
Figure 26 : Script pour définir le paramètre VDV de l'élément (Source personnelle) 30
Figure 27 : Script pour définir les paramètres XYZ de l'élément (Source personnelle) 31
Figure 28 : Onglet données d'identification (Source personnelle) 31
Figure 29 : Nomenclature du paramètre température (Source personnelle) 32
Figure 30 : Index couleur station (Source personnelle) 32
Figure 31 :Index couleur prisme(Source personnelle) 32
Figure 32 : Script d'affectation de l'index au capteurs (Source personnelle) 33
Figure 33 : Script code couleur (Source personnelle) 33
Figure 34 : Résultat du modèle 3D sur Revit (source personnelle) 34
Figure 35: Script pour la gestion des alarmes (Source personnelle) 35
Figure 36: Résultat sur Revit (Source personnelle) 36
Figure 37: Projet du Grand Paris Express (Source okan germiyan, 2011) 37
Figure 38: Prolongement de la Ligne 14 (Source : Objectif Grand Paris, 2018) 38
Figure 39: Perspective de l'entrée de la gare C3C (Source : Franklin Azzi Architecture, 2018) 39
Figure 40: La maquette BIM de la gare C3C avant application du modèle (Source: Cementys) 40
Figure 41: Famille extensomètre (Source personnelle) 41
Figure 42: La maquette BIM de la gare C3C après affichage des alarmes (Source personnelle) 41
Figure 43: Nuage de points du siège de Cementys (Source personnelle) 42
Figure 44: Siège social de Cementys après application du modèle (Source personnelle) 43
Figure 45: Modèle 3D de capteur de surveillance (Source: Cementys) 44

Développement d'une méthode d’intégration systématique des capteurs dans le BIM pour les constructions durables

Mémoire d’ingénieur C.N.A.M., Le Mans 2020

RESUME

De nos jours, nous remarquons le développement et la progression de la modélisation 3D des maquettes numériques dans le secteur de bâtiment ce qui pousse les géomètres à utiliser cette nouvelle technologie et intégrer le BIM dans le processus d’auscultation des ouvrages.

Ce mémoire propose une méthode qui permet une opération d’automatisation d’intégration des données de capteurs de surveillance des ouvrages dans la maquette BIM. La technologie de l'Internet des objets (IoT) est utilisée pour acquérir des données opérationnelles sur les installations des bâtiments et des données environnementales en temps réel pour soutenir la gestion des installations (FM) et mieux gérer les opérations de maintenances. Ce processus permet une bonne gestion des ouvrages et une meilleure anticipation des problèmes à envisager.

Mots clés : BIM, Auscultation, Maquette numérique, IoT, FM.

SUMMARY

Nowadays, we notice the development and the progression of 3D models in the building sector, which pushes surveyors to use this new technology and integrate BIM in the process of auscultation of structures.

This study proposes a method that allows an automated operation to integrate data from structural monitoring sensors into the BIM model. Internet of Things (IoT) technology is also used to acquire operational data on building installations and real-time environmental data to support facilities management (FM) and manage maintenance operations in a good way. This process enables good facility management and better anticipation of problems.

Key words : BIM, Auscultation Digital model, IoT, FM.