



HAL
open science

Définition et amélioration pratique de la synthèse technique BIM

Enola Sengeissen

► **To cite this version:**

Enola Sengeissen. Définition et amélioration pratique de la synthèse technique BIM. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2022. dumas-04061824

HAL Id: dumas-04061824

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04061824>

Submitted on 7 Apr 2023

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.

Copyright



Travail de fin d'études pour le diplôme d'ingénieur de l'École nationale des travaux publics de l'État

SENGEISSEN Enola
VA Génie Civil

Année 2021-2022

Définition et amélioration pratique de la synthèse technique BIM

Soutenu le 29 septembre 2022 devant le jury composé de :
— Président du Jury et maître de TFE : Antonin FABBRI
— Expert : Baptiste BOSSER
— Tuteur entreprise : Damien BERTHOUX



Notice Analytique

AUTEUR			
Nom	Sengeissen		
Prénom	Enola		
ORGANISME D'ACCUEIL			
Nom de l'organisme et Localité	GSE Avignon (84)		
Nom du Tuteur	Berthoux Damien		
ANALYSE DU TFE			
Titre (français)	Définition et amélioration pratique de la synthèse technique BIM		
Titre (anglais)	Definition and practical improvement of the BIM technical synthesis		
Résumé (français)	<p>Ce Travail de Fin d'Études réalisé chez GSE porte sur la refonte des objectifs et des méthodes de la synthèse technique BIM. L'entreprise était en demande d'une clarification des objectifs de synthèse et d'une aide sur des potentiels développements informatiques. Ce travail a consisté en une enquête pour collecter les retours d'expérience et le besoin puis en l'élaboration d'un guide sur les conflits en synthèse selon les phases projet et enfin la création d'un plugin Navisworks pour paramétrer les conflits. L'une et l'autre production vont permettre de créer des données mieux structurées qui pourront désormais être exploitées.</p>		
Résumé (anglais)	<p>This final projet assignment conducted in GSE concerns the redesign of the objectives and methods of the BIM technical synthesis. The company was asking for a clarification of the objectives of synthesis and a help on potential computer developments. This work consisted of a survey to collect feedback, then the development of a register of clashes in synthesis according to the project phases and finally the creation of a Navisworks plugin to parameterize conflicts. Both productions will allow the creation of better structured data that can now be exploited.</p>		
Mots-clés (français)	BIM, Synthèse, Développement, Navisworks		
Mots-clés (anglais)	BIM, Synthesis, Development, Navisworks		
Termes géographiques (français)	Avignon, France		
COLLATION			
	Nb de pages	Nb d'annexes (nb de pages)	Nb de réf. biblio.
	67	4	9

Déclaration personnelle de travail

Je déclare que ce rapport constitue l'aboutissement d'un travail personnel et ne peut être suspecté de plagiat.

Le travail présenté distingue explicitement ce que j'ai produit de ce que j'ai emprunté à d'autres. A ce titre, les citations sont clairement identifiables et les sources (écrits, images) qui ont alimenté ma réflexion sont référencées.

Remerciements

Je remercie GSE de m'avoir recrutée pour ce stage et plus particulièrement Damien BERTHOUX, mon tuteur, qui m'a transmis beaucoup de choses avec patience et pédagogie. Je remercie également Franck SPIESER, responsable BIM qui a joué un rôle important dans ma formation au sein de son service. Merci à Celine VIGOUROUX, Diana Patricia ROJAS RODRIGUEZ, Maria Cristina JEREZ HERNANDEZ, Hervé KACZMAREK, James SANDERS avec qui j'ai partagé l'open space pendant six mois. Ils ont su m'aider au quotidien et dans mon sujet de TFE. Je tient également à remercier Olivier PEYRAL, directeur de projet, pour son temps et sa bienveillance à mon égard.

Je remercie plus largement toutes les personnes qui ont croisé ma route dans mon expérience chez GSE, que ce soit dans le cadre professionnel ou dans des moments plus conviviaux. Je dois remercier également toute la promotion de stagiaires qui ont été d'un soutien infailible et qui ont fait de mon stage un vrai moment de vie.

Enfin je remercie Antonin FABBRI, président du jury de TFE et Baptiste BOSSER qui a accepté d'être expert dans ce jury et m'a également enseigné les premières bases en modélisation BIM au cours de l'année scolaire.

Glossaire

AIA Institut Américain des Architectes.

APD Avant-Projet Définitif.

API Application Programming Interface ou « interface de programmation d'application ». C'est une interface logicielle qui permet de « connecter » un logiciel ou un service à un autre logiciel ou service afin d'échanger des données et des fonctionnalités. (définition cnil.fr).

APS Avant-Projet Sommaire.

BIM Building Information Modeling.

CAO Conception Assistée par Ordinateur.

Charte BIM Document qui spécifie aux dessinateurs les attentes de GSE sur la modélisation des maquettes numériques et la production des plans à partir de ces dernières.

Clashes Anglicisme pour "collision". C'est le terme plus largement utilisé pour parler de conflits entre maquettes numériques..

Convention BIM Document qui spécifie le caractère BIM d'un projet (objectifs, processus, intervenants, règles de travail, etc.).

CVC Chauffage Ventilation Climatisation.

DCE Dossier de Consultation des Entreprises.

DOE Dossier des Ouvrages Exécutés.

ENSG École Nationale des Sciences Géographiques.

ENTPE École Nationale des Travaux Publics de l'État.

EXE Exécution (de travaux).

Gabarit Fichier BIM servant de point de départ à toutes les maquettes numériques d'un projet..

IFC "Les IFC sont un format d'échange de données ouvert (non-proprétaire) qui permet d'échanger des données liées à un projet BIM, quels que soient les outils informatiques des divers acteurs. IFC signifie Industry Foundation Classes." [2].

IP Ingénieurs Projet.

LOD Level Of Development.

MEP Mécanique Électrique Plomberie.

ND Niveau de Détail.

PC Permis de Construire.

POO Programmation Orientée Objet.

PTNB Plan Transition Numérique dans le Bâtiment.

RIA Robinets d'Incendie Armés.

Sprinklage Dispositif d'extinction automatique d'incendie via un réseau de têtes de dispersion d'eau..

TFE Travail de Fin d'Études.

UML Uniefied Modeling Langage.

UP Unités de passage.

VRD Voierie Réseaux Divers.

Table des matières

Déclaration personnelle de travail	3
Remerciements	4
Introduction	9
1 Contexte	11
1.1 Qu'est-ce que le BIM ?	11
1.1.1 Généralités	11
1.1.2 Le BIM chez GSE	12
1.1.3 Le BIM Manager	12
1.2 Structure d'accueil : GSE	12
1.3 La synthèse BIM GSE	13
1.3.1 Problématique	13
1.3.2 Moyens techniques	14
2 État de l'art de la synthèse BIM	17
2.1 La synthèse selon les phases projet	18
2.2 Précision	20
2.2.1 Niveau de développement	20
2.2.2 Précision dans la synthèse	21
2.3 Procédures actuelles	23
2.3.1 Préparation de synthèse	23
2.3.2 Réunion de synthèse	25
2.3.3 Rapport de synthèse	26
2.4 Conclusion intermédiaire	27
3 Guide de la synthèse BIM par phases	29
3.1 Répertoire des conflits	29
3.1.1 Base de données	29
3.1.2 Manuel illustré	30
3.2 Tolérance	32
3.2.1 Un paramètre difficile à évaluer	32
3.2.2 Influence du paramètre tolérance	32
3.3 Priorités	36
3.3.1 La structure	36
3.3.2 Les dimensions vendues	36
3.3.3 Le process client	38
3.3.4 Les lots soumis à forte réglementation	38
4 Amélioration des outils BIM	39
4.1 Objectifs	39

4.2	Environnement de travail	40
4.2.1	Logiciels et langages de programmation	40
4.2.2	Architecture de données de Navisworks	41
4.3	Développement du plugin de création de clashes	43
4.3.1	Cas d'utilisation	43
4.3.2	Fonctionnement	45
4.3.3	Extensions possibles	46
	Conclusion	48
	A Organigramme GSE	57
	B Organigramme Dir.Technique	59
	C Base de données des clashes	61
	D Diagramme de classe	67

Introduction

Le domaine du [Building Information Modeling \(BIM\)](#) est attirant pour son caractère novateur et pas tout à fait consensuel. Le contexte environnemental et politique veut que l'usage du BIM soit de plus en plus généralisé. Le simple fait que le [Plan Transition Numérique dans le Bâtiment \(PTNB\)](#) de 2014, vu alors comme une avancée et une opportunité pour développer le BIM, soit aujourd'hui devenu littéralement le "Plan BIM 2022" en dit long sur la place que le BIM prend dans le monde de la construction. Pourtant, toutes les entreprises du BTP ne sont pas encore assurées du gain que cette technologie peut représenter.

À titre personnel, je suis convaincue de l'avenir du BIM dans les domaines du bâtiment comme plus largement du génie civil et de l'énergie. J'ai réalisé un double cursus d'ingénieur en Géomatique, à l'[École Nationale des Sciences Géographiques \(ENSG\)](#) et en Génie Civil à l'[École Nationale des Travaux Publics de l'État \(ENTPE\)](#), il est donc tout naturel pour moi de me tourner vers un domaine où l'informatique est au service de la construction qui est de surcroît un domaine en constante innovation. Pour mon stage de fin d'études, j'ai vite compris que GSE pourrait me former dans ce domaine, forte de son expérience en la matière.

Le BIM est trop souvent dégradé à la seule partie de modélisation dans l'esprit des acteurs non initiés, mais plusieurs activités d'ingénierie gravitent autour de ce terme et sont entreprises par des ingénieurs développeurs, des BIM Manager, etc. J'ai fait un stage de fin d'études de six mois chez GSE avec Damien Berthoux BIM Manager dans l'entreprise. C'est au cours de ce stage que j'ai développé un [Travail de Fin d'Études \(TFE\)](#) sur un des aspects les plus techniques du métier de BIM Manager qui est la synthèse technique BIM. Si le métier de BIM Manager est d'assurer la continuité du BIM et de coordonner les acteurs, l'exercice de synthèse BIM est un exemple parfait de cette action.

La synthèse technique est un domaine d'étude déjà très poussé, mais l'utilisation du BIM dans cet exercice reste une "nouveau" à l'échelle des méthodes de synthèse. Ainsi, le service BIM de GSE a déjà des procédures qui fonctionnent mais qui peuvent être approfondies, et améliorées. D'où l'intérêt de mon TFE que j'ai mené en fil conducteur du stage tout en étant formée sur tous les aspects du métier avec d'autres missions très variées. Ce regard panoramique sur les "méthodes BIM" et la pratique personnelle de celles-ci, avec toutes les difficultés que la position de débutant implique, ont permis de se heurter à un enjeu global qui est l'organisation de la grande quantité de données. De manière générale, le recours à l'informatique permet l'optimisation, à condition qu'elle soit utilisée correctement. Au même titre, l'utilisation du BIM est une avancée mais des dérives sont possibles. Dans ce contexte, ce TFE se place en éclaircisseur sur la question de comment l'organisation des connaissances et des données peut permettre une meilleure efficacité en synthèse technique BIM.

Ce mémoire, comme dans la réelle chronologie de mon travail, s'intéressera d'abord aux procédures connues par l'entreprise et les enjeux qui y sont liés. Puis, il présentera d'un point de vue pratique les productions réalisées au cours du TFE pour servir l'amélioration de la synthèse technique BIM.

1.1 Qu'est-ce que le BIM ?

1.1.1 Généralités

Le BIM « [Building Information Modeling](#) » est un ensemble de méthode basé sur l'utilisation de maquettes numériques au service des projets de construction. Le BIM peut être utilisé dans toutes les phases d'un projet et constitue un véritable outil d'aide à la décision, à la conception et à la communication. En effet, les maquettes BIM sont des représentations numériques des ouvrages en trois dimensions et comportent à la fois la géométrie 3D et des informations sur les composants. À la différence des logiciels de CAO ([Conception Assistée par Ordinateur](#)), les logiciels de BIM classent les objets par *catégorie, famille, type* et non plus par calques. Il existe plusieurs niveaux de BIM :

- Le BIM de niveau 0 n'implique pas de collaboration. Des maquettes numériques peuvent être créées, mais sans soucis d'interopérabilité ni d'échanges collaboratifs.
- Le BIM de niveau 1 introduit la collaboration au sein d'une équipe qui partage un, ou plusieurs modèles numériques.
- Le BIM de niveau 2 où la collaboration est au coeur des méthodes.

On distingue également plusieurs "dimensions" en BIM :

- 2D, dessins en deux dimensions
- 3D, ajout de la dimension manquante en plan, c'est souvent au BIM 3D auquel on fait référence par défaut
- 4D, ajout du paramètre temps
- 5D, ajout du paramètre économique
- 6D, intégration de la notion de cycle de vie
- 7D, intégration de la notion de sécurité

GSE utilise le BIM en 3D au niveau 2. Pour chaque projet de GSE incluant une offre BIM, le principe est de construire un modèle numérique qui sera l'unique représentation du projet à partir de laquelle toutes les autres productions BIM découleront. En effet, les méthodes BIM permettent aussi bien de produire les plans 2D contractuels que des rendus graphiques réalistes. On peut donc employer la maquette à des fins tant commerciales que techniques.

1.1.2 Le BIM chez GSE

Chez GSE le BIM intervient dès la phase commerciale et jusqu'à la livraison. Tous les projets de GSE ne contiennent pas de BIM. Pour ceux qui le proposent, il y a différents niveaux d'offres BIM qui sont récapitulées dans le tableau ci dessous :

Niveau	Offre	Livrables	Synthèse
1	Design	Plans, maquettes 3D, quantitatifs	Architecturale 2D ou 3D
2	Design & Build	+ Maquettes lots techniques et VRD	Synthèse 3D, Planning 3D
3	DOE BIM	+ Maquettes "as built", BIM DOE	Synthèse DOE
4	BIM exploitation	+ Logiciel BIM d'exploitation	

TABLE 1.1 – Schématisation de l'offre BIM chez GSE

Ce sont donc les architectes, les ingénieurs commerciaux, les intervenant en étude, en exécution, et tous les consultants qui sont voués à utiliser ou enrichir le BIM d'un projet. La continuité dans la collaboration est spécifiquement assurée par les BIM Manager.

1.1.3 Le BIM Manager

En premier lieu le BIM Manager doit définir les objectifs BIM du projet (applications possibles : plans, études, [Dossier des Ouvrages Exécutés \(DOE\)](#), synthèse, métrés, planning, etc.) qu'ils retranscrit dans la [convention BIM](#) pour figer les limites des missions retenues. Puis, il s'attache à faire réaliser une maquette commerciale et à faire des rendus graphiques pour présenter le BIM au client.

Ensuite, il doit faire réaliser et contrôler toutes les maquettes numériques nécessaires au projet ainsi que les plans tirés des maquettes GSE et gérer les mises à jour provenant des équipes d'études ou de chantier. Il centralise et partage les documents BIM sur une plateforme en ligne. Le BIM Manager réalise également des quantitatifs à partir des maquettes.

Enfin il prépare la synthèse 3D en agrégeant l'ensemble des maquettes dans le logiciel Navisworks et est responsable de cadencer avec l'équipe projet des réunions de synthèse 3D qu'il anime. En fin de projet, il prépare le DOE en vérifiant les DOE des entreprises, il met à jour les maquettes GSE et ajoute des liens vers les fiches techniques des produits dans chaque maquette de chaque lot.

Dans l'entreprise, le BIM Manager est finalement celui qui coordonne les maquettes numériques. Il s'agit de concevoir les normes et de les faire appliquer par les entreprises sous-traitantes et les dessinateurs internes. Il va de pair avec les BIM Modeleur dont les missions sont le dessin 2D parfois et surtout la modélisation 3D. Le BIM Manager peut également être vu comme le traducteur BIM des objectifs de chaque projet.

1.2 Structure d'accueil : GSE

GSE : Global Solutions Engineering est un *Contractant Général*. Ce terme a été créé par les fondateurs de GSE, Jean-Pierre et Michel HUGUES. Leur concept est basé sur le principe d'un interlocuteur unique et d'un engagement contractuel (prix, délais, qualité) auprès des clients pour construire des bâtiments dans le domaine des plateformes logistiques, des unités de production et bâtiments d'activités, des bureaux et sièges sociaux, des centres R&D et de santé, des surfaces commerciales et de la rénovation. À ce jour, le groupe a construit plus de 15 millions de m²

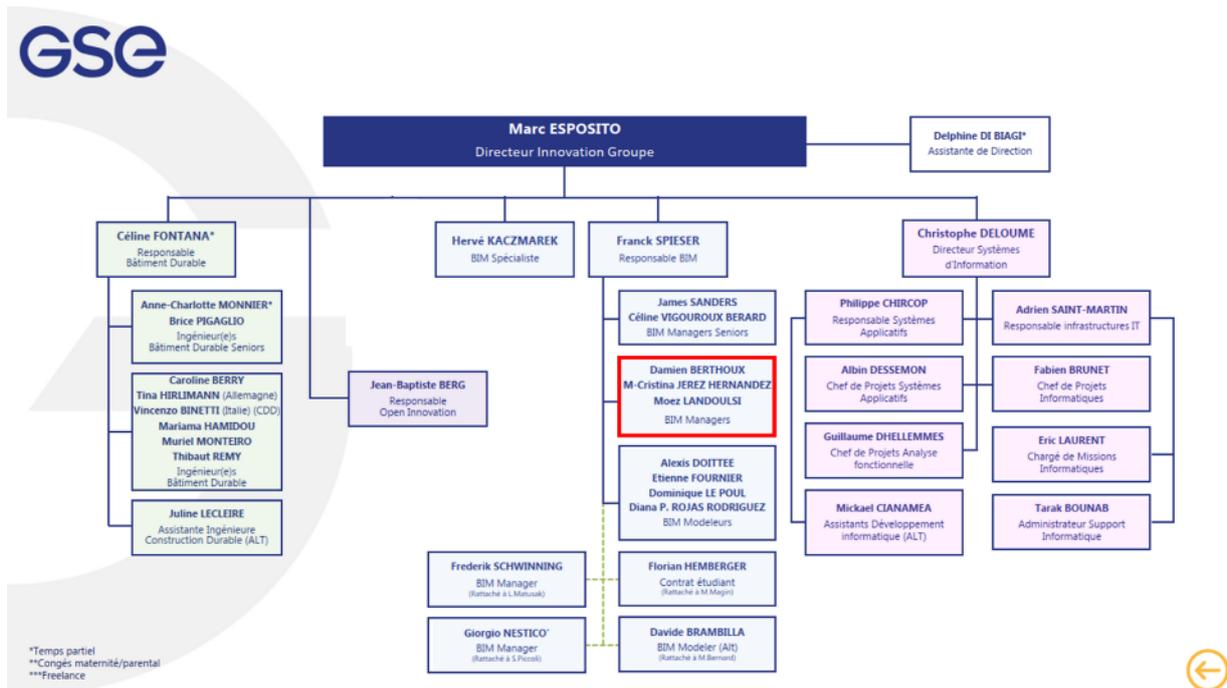


FIGURE 1.1 – Organigramme du Lab. De gauche à droite : Pôles Bâtiment durable, Innovation, BIM et DSI

et est leader sur le marché de la construction clés en mains de bâtiments professionnels avec des clients tels que Auchan, Alstom, Coca-Cola, Danone, le groupe Lafarge, l'Oréal, Michelin, Renault-Nissan, Thales, Schneider Electric, Aventis Pasteur...

GSE est une PME implantée dans 19 pays et qui a aujourd'hui développé plusieurs branches. Le groupe compte 450 collaborateurs dans le monde : France, Belgique, Grande-Bretagne, Allemagne, Italie, Espagne, Hongrie, Chine... et a récemment été racheté par l'entreprise allemande Goldbeck qui exerce dans le même secteur d'activité à une échelle bien plus importante.

GSE se place sur le marché comme garant de qualité et d'innovation. C'est ainsi qu'elle généralise les certifications (HQE, Bream, Leed) et qu'elle consacre un service entier à l'innovation. Ce service *Le Lab* fait partie de la direction technique (organigrammes de GSE et de sa direction technique disponibles en A et B) et inclue notamment le pôle BIM dans lequel j'ai fait mon stage avec mon tuteur Damien Berthoux repéré en rouge dans l'organigramme en Figure 1.1.

1.3 La synthèse BIM GSE

1.3.1 Problématique

GSE réalise des synthèses BIM *non certifiées*. Elles sont menées en interne par les BIM Manager et permettent aux équipes projet d'avancer plus sereinement dans la conception et la réalisation des bâtiments. Le BIM Manager comme on l'a vu ne concentre pas toute son action sur la synthèse. C'est la raison pour laquelle, d'une part, il se doit d'être efficace, et d'autre part, il n'a pas la compétence ni les moyens d'un bureau d'étude de synthèse. Pour améliorer la qualité des synthèses et optimiser leur temps de préparation, il était nécessaire pour GSE de consacrer du temps à ce sujet. C'est pourquoi mon TFE devait permettre de disposer d'une meilleure connaissance de l'exercice de synthèse. Il s'agissait de préciser les objectifs et les termes de l'exercice, puis de participer à l'amélioration des processus existants.

Pour mener à bien ce travail, j'ai d'abord profité de ma formation de BIM Manager au cours de laquelle il m'a été donné de réaliser une synthèse technique en 3D pour un projet en phase d'exécution. Toutefois, pour prétendre améliorer les méthodes liées à la synthèse, il était important de consolider une connaissance plus précise du sujet et d'acquérir rapidement une expérience que je n'avais pas. C'est donc naturellement que le travail s'est divisé en deux grands axes : Connaître et définir précisément l'action du BIM Manager en synthèse puis développer un outil pour perfectionner les méthodes. Ces deux axes sont également devenus deux grandes étapes chronologiques de mon TFE.

Pour mieux définir la synthèse j'ai tiré mes propres leçons de mon exercice personnel de la synthèse, puis j'ai choisi d'interroger d'autres acteurs ayant déjà été impliqués dans une synthèse et d'étudier leurs projets passés afin de multiplier les retours d'expérience. Le fruit de ce travail de recherche fera l'objet des parties 2 et 3. Ce n'est que dans un deuxième temps que j'ai mobilisé mes connaissances et affinités avec l'informatique pour développer un plugin permettant d'enrichir les outils de l'entreprise.

1.3.2 Moyens techniques

Le logiciel BIM principalement utilisé à GSE dans la conception des maquettes est *Revit* de la suite *Autodesk*. GSE utilise également une plateforme d'échanges collaborative en ligne BIM360, qui est aussi un produit Autodesk. Chaque projet est organisé selon une arborescence de dossiers créée par le BIM Manager, dont les droits de lecture et écriture sont administrés différemment selon les parties prenantes.

Enfin, le logiciel le plus important pour la synthèse est *Navisworks Manage*. Il est spécialement conçu pour comparer des maquettes numériques. C'est un logiciel de visualisation qui permet, contrairement à *Revit*, de naviguer dans les bâtiments. Les outils disponibles sont conçus pour préparer une synthèse BIM.

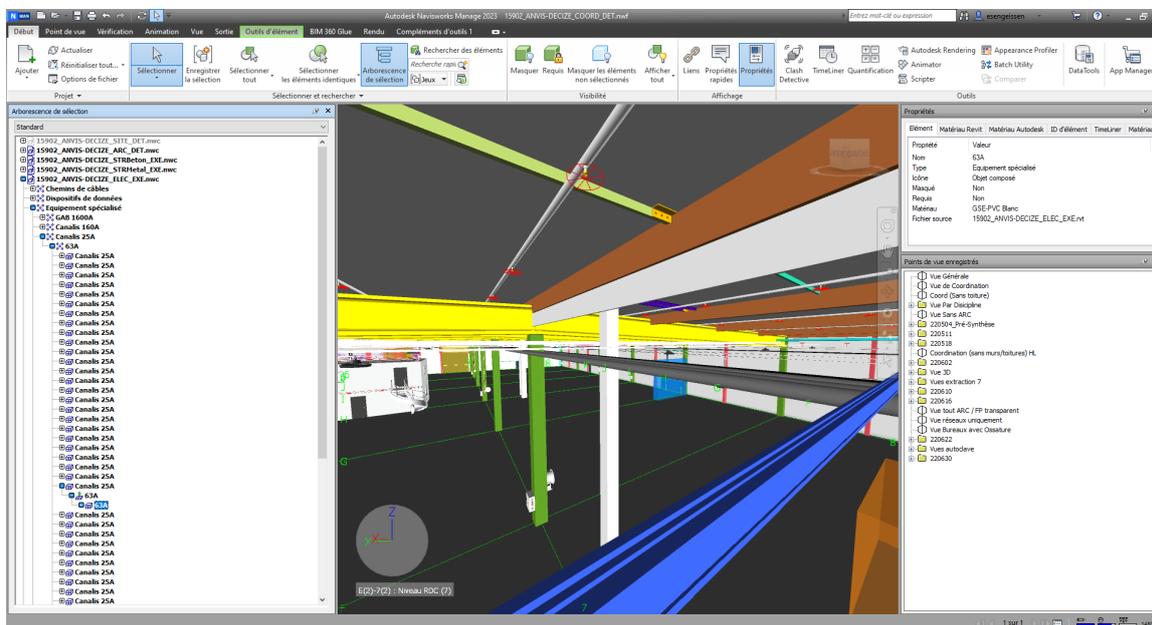


FIGURE 1.2 – Logiciel Navisworks Manage. De gauche à droite : Arborescence de sélection, fenêtre de visualisation, Propriétés et Arborescence des points de vue

Dans Navisworks, on peut importer un fichier de maquette de coordination précédemment réalisée dans Revit. C'est alors un unique modèle qui contient toutes les maquettes d'un projet. On peut aussi, au choix, importer autant de modèles que de maquettes séparées.

Navisworks gère trois types de fichiers en plus des fichiers IFC :

- NWC : C'est le format de transition utilisé pour importer les fichiers Revit dans Navisworks. On ne peut pas sauvegarder de fichier .nwc depuis Navisworks.
- NWF : C'est le format dans lequel on enregistre les projets Navisworks. Il contient un index vers les fichiers liés et permet de les mettre à jour en travaillant sur le même modèle.
- NWD : C'est le format d'export privilégié pour partager les maquettes de coordination. Il permet de s'affranchir des liens vers les autres fichiers et peut être lu seul et sur une version gratuite de Navisworks.

Dans la configuration utilisée à GSE, l'interface se compose d'une fenêtre de visualisation du/des modèle(s), d'une barre d'outils, d'une fenêtre contenant l'arborescence des fichiers, d'une fenêtre contenant les propriétés des objets sélectionnés et d'une fenêtre contenant les points de vues enregistrés (cf. Figure 1.2) L'arborescence hiérarchise les fichiers .nwc ou .ifc selon les catégories des objets puis leurs types. Les propriétés sont les mêmes que celles créées dans le fichier natif Revit ou dans l'IFC. Les points de vue enregistrés sont des aperçus du modèle dans une configuration donnée. Il se présentent sous forme de photos, éventuellement annotées, depuis lesquelles on a accès à tout le modèle tel qu'il apparaissait au moment de la prise de vue. Ce sont les outils centraux de la détection et du suivi de [clashes](#).

Dans Navisworks, on peut également réaliser des coupes, des mesures, afficher ou masquer les éléments que l'on souhaite, définir des jeux de données ou de sélection... Parmi les outils plus poussés il y a l'*Appearance Profiler* qui permet d'attribuer des apparences (couleur, transparence) aux objets selon leur catégorie, selon un jeu défini, ou de façon personnalisée. Les configurations peuvent être sauvegardées. Cet outil est très utile pour attribuer une couleur par discipline dans un modèle. L'outil *Clash Detective* est spécialement conçu pour la synthèse. Il effectue des recherches automatiques de collisions entre jeux d'objets. Nous en parlerons plus en détail ultérieurement.

Navisworks est le logiciel le plus adapté à la synthèse BIM en accord avec les autres logiciels de la suite Autodesk. Cependant, son interface reste parfois quelque peu archaïque et ses fonctionnalités limitées. C'est pourquoi en vue d'améliorer la qualité des synthèses BIM, il est important de se pencher sur l'amélioration de l'outil et cela est possible car le logiciel peut-être enrichi de plugins. Tous les logiciels utilisés quotidiennement sont dans leur version 2022 ou antérieure.

La synthèse est une étape incontournable dans un projet de construction, indépendamment du BIM. La synthèse vise à assurer "la cohérence spatiale des éléments d'ouvrage de tous les corps d'état, dans le respect des dispositions architecturales, techniques, d'exploitation et de maintenance du projet" (définition de l'arrêté du 22 mars 2019 précisant les modalités techniques d'exécution des éléments de mission de maîtrise d'œuvre confiés par des maîtres d'ouvrage publics à des prestataires de droit privé [1]).

Ainsi, historiquement la synthèse se fait sur plans 2D et les produits de la synthèse sont des plans contractuels dits de synthèse. Les planches de synthèses incluent des coupes, des vues en élévations et en plans, de sorte à visualiser les conflits dans les trois dimensions. Aujourd'hui, puisqu'on en a les moyens avec le BIM, l'usage direct de la 3D pour préparer et présenter la synthèse semble tout à fait pertinent.

Les conflits peuvent être très nombreux et de nature différentes. Les collisions géométriques, les [clashes](#), apparaissent lorsqu'au moins deux objets occupent le même emplacement. Certains clashes sont normaux et attendus, comme un sol qui peut être encastré dans un mur. Bien d'autres sont à repérer impérativement, et le plus tôt possible. Il peut s'agir de clashes internes à une maquette, défaut de modélisation ou conception à revoir, ou le plus souvent de clashes entre maquettes, soit entre différentes disciplines. Les conflits ne sont pas toujours géométriques mais également logiques, un poteau ne doit pas être devant une porte par exemple. La détection des conflits permet de remettre en cause la conception, et donc les quantités, les coûts, les délais pour tous les intervenants. Les conflits importants peuvent représenter jusqu'à 10% du budget d'un projet [4]. Le travail de synthèse doit être réalisé avec minutie.

2.1 La synthèse selon les phases projet

À la différence des marchés publics, dans les marchés privés la synthèse peut intervenir à différents stades du projet et elle n'est pas systématique. En premier lieu, ce que souhaitait le service BIM c'était que j'explique toutes les sortes de clashes à détecter lors d'une synthèse, en fonction de la phase où elle était réalisée. Le terme de phase désignant les phases "loi MOP" : les études de faisabilité, l'**Avant-Projet Sommaire (APS)**, **Avant-Projet Définitif (APD)**, le dépôt de permis de construire (**PC**), le montage du **Dossier de Consultation des Entreprises (DCE)**, l'exécution de travaux (**EXE**), montage du **Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE)**. Or GSE en tant que "contractant général" n'est pas soumis à la loi MOP, ces phases ne sont donc pas ainsi nommées ni cloisonnées dans tous les projets. C'est pourquoi il était nécessaire pour moi de mettre en évidence les étapes des projets GSE, et ce indépendamment du BIM dans premier temps.

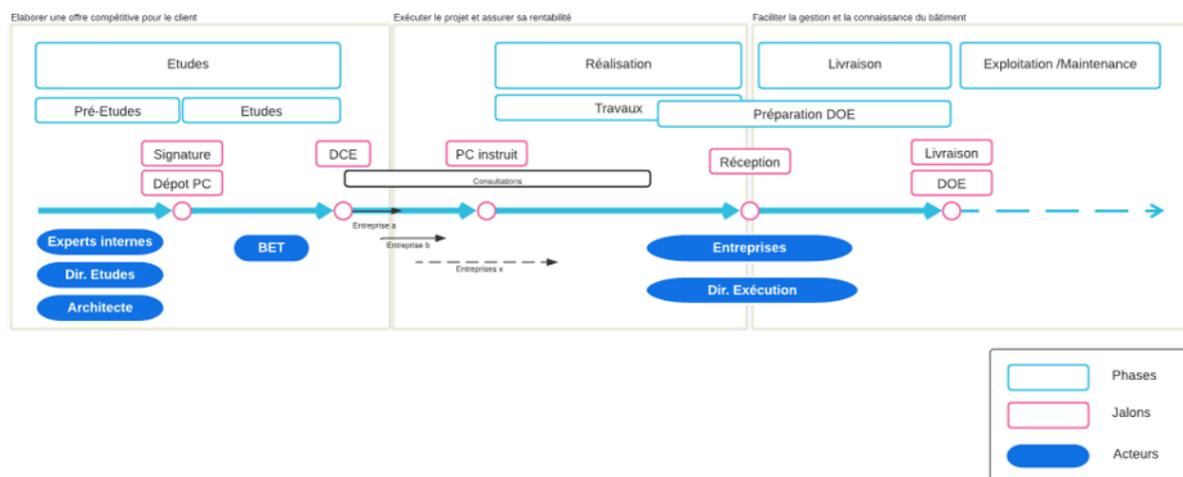


FIGURE 2.1 – Chronologie standard des projets de GSE - Enola Sengeissen

L'organigramme ci-contre (Figure 2.1) synthétise les étapes d'un projet. Il commence par des études de faisabilité et une phase commerciale, que l'on nommera pré-études. Puis, les traditionnelles phases d'**APS**, **APD** en vue de monter le **DCE** viennent finaliser les études. Elles sont menées par des experts chez GSE (Dir. Études) ou bien par des bureaux d'études externes. Habituellement, un architecte externe réalise également la première conception du bâtiment qui sera proposée dans le **PC**.

Ensuite, les consultations des entreprises commencent pour les lots les plus importants qui interviennent en premier (**Voierie Réseaux Divers (VRD)**, Gros Oeuvre, ...). La consultation continue pendant les travaux puisque certaines entreprises de finitions n'interviennent que bien plus tard. Lorsque le **PC** est finalement instruit, les travaux peuvent débuter. Les équipes projets de GSE (Dir. Exécution) dirigent la réalisation du bâtiment en collaboration avec les entreprises mandatées.

Une fois les travaux réalisés, chaque entreprise constitue et transmet son **DOE**. L'ouvrage est réceptionné, et c'est après la levée d'éventuelles réserves et la constitution du **DOE** global par GSE que le bâtiment est livré au client.

Cette chronologie schématisée résume bien la plupart des projets menés par GSE. Elle m'a permis de réaliser qu'il existait plus synthétiquement trois phases avec des objectifs différents :

- Les *Études* visent à imaginer une offre de projet qui soit compétitive pour le client. Il s'agit de proposer un bâtiment qui réponde techniquement à ses attentes et au meilleur prix.

- La *Réalisation* veut que le bâtiment soit construit en respectant le budget prévu tout en obtenant le moins de réserves possibles.
- La *Livraison* du bâtiment et de son DOE est le point de départ de l'exploitation et de la maintenance du bâtiment par le client. Elle vise donc à lui faciliter la gestion et la connaissance de l'ouvrage.

C'est donc en fonction de ces trois étapes que j'ai différencié l'objet de la synthèse et ses objectifs.

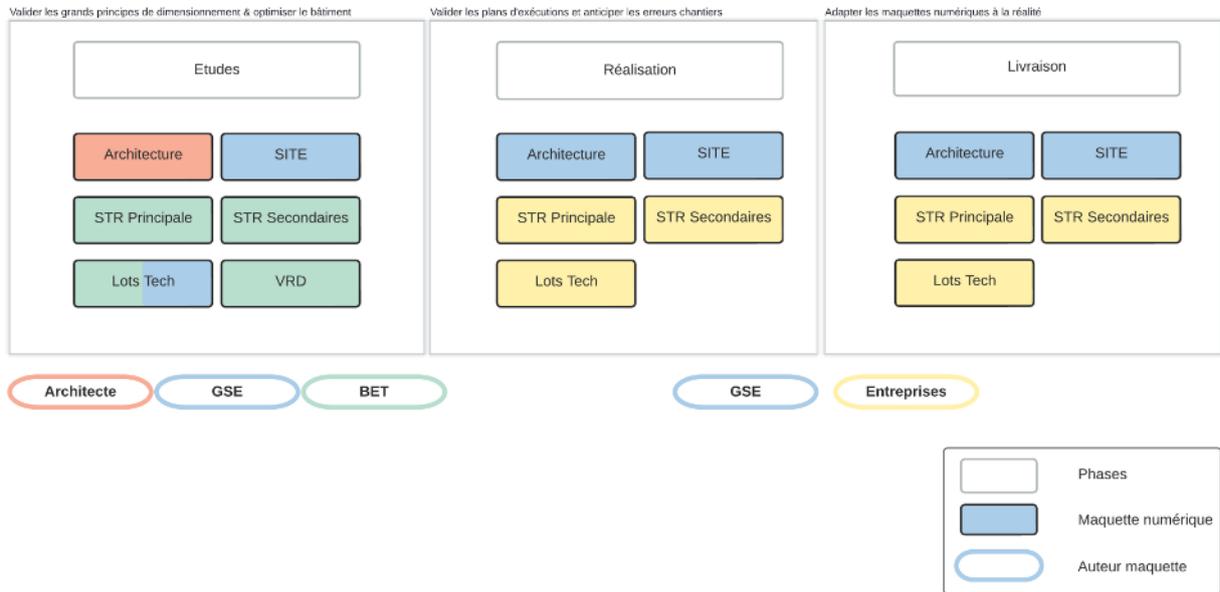


FIGURE 2.2 – Cadre de la synthèse selon les trois phases retenues - Enola Sengeissen

Cette fois, l'organigramme en Figure 2.2 reprend les trois phases en recentrant le point de vue sur les outils et objectifs BIM. Les objectifs BIM visent à répondre aux objectifs généraux précédemment mis en évidence :

- En *Étude* le BIM sert à valider ou invalider les choix techniques réalisés et à optimiser le bâtiment.
- En *Réalisation* le BIM doit permettre d'anticiper des erreurs chantiers afin de valider les plans d'exécution (*plans d'EXE*) des entreprises.
- Pour la *Livraison* le BIM permet d'apporter au client une reproduction numérique la plus proche possible de la réalité.

Si les objectifs sont différents lors de chaque étape, les moyens le sont aussi. En effet, le BIM Manager n'a pas accès aux mêmes maquettes au cours du projet. Ce ne sont pas les mêmes interlocuteurs qui interviennent non plus. En phase d'étude, la modélisation du projet se base sur deux éléments entrants : une maquette ou des plans architecturaux réalisés par un architecte externe, et la maquette de la charpente principale conçue par un bureaux d'études de structure externe. Cela sert de base à la construction du gabarit BIM. Le gabarit est un fichier comportant les files du projet et des lignes de niveaux en altitude qui servent ensuite à construire toutes les autres maquettes du projet sur la même base. Une maquette architecturale est reconstituée par GSE car les maquettes des architectes sont souvent à reprendre. À ces maquettes peuvent s'ajouter :

- Une maquette site, qui modélise l'extérieur du projet, faite par GSE
- Une structure secondaire, par un bureau d'étude externe
- Une maquette ou des plans de principe des lots techniques, réalisés en interne ou en externe

En phase d'exécution, les maquettes architecturales et site sont celles produites par GSE et peuvent donc être adaptées de la phase d'étude. Les maquettes structurelles et lots techniques changent en revanche d'auteur puisqu'elles sont à charge des entreprises mandatées pour les lots correspondants. Dans ce cas, il est possible que les entreprises repartent des maquettes précédentes si le BIM Manager assure leur transmission, dans bien d'autres cas les entreprises recommencent à partir de zéro. Il est à noter que tous les lots ne sont pas modélisés en BIM. En effet, l'utilité n'est pas toujours certaine et toutes les entreprises n'ont pas la compétence de travailler en BIM.

Enfin, dans un projet vendu avec un *BIM DOE*, les entreprises mettent à jour leurs maquettes d'exécution « telles que construit » après leurs travaux. C'est-à-dire en reportant toutes les différences entre les plans d'EXE et la réalisation effective. Les auteurs (entreprises) ne changent pas mais les interlocuteurs (collaborateurs) peuvent changer à ce moment du projet car il se passe plusieurs mois, voire années, entre les études et la livraison. La coordination et la synthèse au moment du DOE sont donc nécessaires car le BIM Manager doit compiler ces maquettes mises à jour pour produire une maquette générale, dite *de coordination*, la plus fidèle à la réalité possible.

2.2 Précision

Il est presque évident que la précision des maquettes et la tolérance à appliquer dans la vérification des maquettes changent selon les phases. Dans la pratique, il est moins évident de doser la tolérance à appliquer. Je me suis donc heurtée à la problématique de la précision dans le BIM afin d'arriver à quantifier de manière générique la tolérance à appliquer dans la détection de problèmes. C'est un objet d'étude très vaste et déjà bien documenté. Derrière la notion de précision se cachent plusieurs concepts.

2.2.1 Niveau de développement

Le BIM permet une représentation graphique très proche de la réalité, il permet aussi de rendre compte d'un nombre incalculable d'informations. Pour autant il n'est souvent pas possible ni pertinent de produire des projets BIM trop riches. Le concept de *niveau de développement* a été étudié aux Etats-Unis par l'[Institut Américain des Architectes \(AIA\)](#) qui a introduit le concept de [Level Of Development \(LOD\)](#), traduit en [Niveau de Détail \(ND\)](#) par Syntec Ingénierie en France[3]. Le niveau de développement se distingue du niveau de détail car il ne traite pas seulement de la définition graphique mais aussi des paramètres renseignés dans un objet. Les [ND](#) vont de 1 à 5 (les [LOD](#) de 100 à 500). Le niveau le plus faible est utilisé pour des analyses de principe, des calculs généraux de surfaces grâce à des volumes élémentaires par exemple. Plus les niveaux augmentent plus on rajoute de concepts tels que la forme, l'orientation, la composition, la localisation.. pour arriver au niveau le plus élevé contenant les informations utiles à la gestion technique de l'ouvrage. Ce concept de niveau de développement fait l'objet de beaucoup de travaux de beaucoup de groupes de travail dans le monde. Il est compliqué de définir une unique échelle pour mesurer la précision du BIM. En réalité, GSE n'exige aucun respect de ses niveaux de détail aux auteurs des maquettes au cours du projet. Les [convention BIM](#) des projets ne font pas mention de ce sujet à l'exception du [LOD 300](#) demandé en [DOE](#) alors même que c'est le [LOD 400](#) qui est officiellement conçu pour le niveau [DOE](#). En revanche, la [charte BIM](#) GSE introduit la notion de niveau de complétude des maquettes.

La Figure 2.3 est extraite de la [charte BIM](#) GSE qui présente un tableau semblable pour chaque discipline. On remarque que les phases *loi mop* sont mentionnées alors que j'expliquai plus haut que tous les projets n'étaient pas ainsi phasés. En effet, ces spécifications de complétude par phases sont datées, et finalement ne sont pas respectées dans la plupart des projets. De ce constat ont résulté deux conséquences pour mon travail. La première fut de compliquer la

recherche de la juste précision à avec laquelle travailler en synthèse selon la phase. En effet, je ne pouvais pas compter sur un niveau de développement imposé. La seconde fut au contraire la possibilité de m'affranchir des normes officielles pour juger par moi même de la précision nécessaire en synthèse (cf. partie 3.2).

Niveau de complétude - Maquette architecture

Innovation digitale - Le Lab

	PC	DCE	EXE	DOE
Walls				
Walls of facades	■	■	■	■
Complements of facade (bibs, canopies, caterpillars)		■	■	■
Wall curtains	■	■	■	■
doublages	■	■	■	■
partitions	■	■	■	■
Wall coverings (faience, paint, etc ...)		■	■	■
Encounters (poles, DEP, etc ...)		■	■	■
Played false ceilings	■	■	■	■
Light partition (sanitary)		■	■	■
Slabs, floors and roofs				
Floor coverings (soft floors, tiles, etc ...)		■	■	■
Baseboards			■	■
Roofing	■	■	■	■
Carpentry				
Exterior joinery (doors + windows)	■	■	■	■
Interior joinery (doors)	■	■	■	■
Details of woodwork (blinds, handle type, door closer, ...)			■	■
Smoke-extraction skylights	■	■	■	■
Divers				
Railings		■	■	■
Drain Pipes		■	■	■
Emergency lights		■	■	■
Stairs / Escalators	■	■	■	■
lifts	■	■	■	■
ceilings	■	■	■	■
Sanitary equipments	■	■	■	■
Integrated furniture (cupboards, sanitary furniture, ...)			■	■
Small furniture (optional)	■	■	■	■

FIGURE 2.3 – Spécification sur le niveau de complétude d'une maquette architecture selon les phases projets. Extrait de la charte BIM GSE.

2.2.2 Précision dans la synthèse

Lorsque l'on parle de précision dans le cadre de la synthèse BIM, on parle de précision géométrique principalement. En effet les informations sur les objets sont utiles, mais se résument bien souvent à savoir de quelle maquette ils proviennent et quel type d'objet ils sont et il est important de savoir qu'un objet en collision avec un autre est une poutre en béton plutôt qu'une cloison en plâtre car la collision n'aura pas la même importance. Mais la précision renvoie plutôt à la tolérance géométrique de collision entre objets. Cette tolérance, évaluée en centimètres, est prise en compte pour les conflits géométriques et moins pour les conflits conceptuels qui se détectent plutôt à l'oeil nu et au jugé.

Les clashes géométriques sont détectés par le BIM Manager dans le logiciel Navisworks. Pour cela plusieurs outils sont à sa disposition. La sélection d'un objet permet de visualiser ses paramètres (matériau, taille, etc. s'ils sont renseignés dans la maquette). L'outil *mesure* permet de prendre une mesure entre deux objets selon les axes qu'il définit et selon différentes méthodes d'accroche. Le BIM Manager peut donc naviguer dans la maquette et lui appliquer des configurations qu'il juge adéquates pour mettre en évidence les problèmes.

Enfin, le *Clash Detective* est une fonctionnalité spécifiquement conçue pour la synthèse. Il demande de définir deux groupes entre lesquels il va rechercher des conflits. La configuration se présente telle que sur la Figure 2.4. Dans chaque groupe, *Selection A* ou *B*, on peut choisir la(les) maquette(s), catégorie(s), voire élément(s) que l'on souhaite analyser et choisir si on souhaite

mettre en évidence les conflits de faces, d'axes ou des conflits ponctuels des éléments. Par défaut on choisit toujours les faces qui englobent généralement les autres.

Ensuite il faut choisir le type de recherche. *Dur* (*conservateur*) prend en compte les géométries réelles des objets, à l'inverse *Dur* fait les calculs avec la triangulation des objets. Par définition, la triangulation est un géométrie approchée, elle laissera passer plus de conflits notamment sur des objets ronds ou cylindriques comme c'est le cas de la majorité des éléments de [Mécanique Électrique Plomberie \(MEP\)](#) (cf. partie 3.2).

Enfin, le choix de la tolérance avec laquelle le logiciel va calculer les conflits est le paramètre qui impacte le plus les résultats de la recherche (cf. partie 3.2).

Le résultat est un tableau dans lequel chaque ligne est un conflit détecté. Si la tolérance est trop haute, les conflits ne sont pas détectés. Si la tolérance est trop fine, ils sont détectés plusieurs fois. Cet outil est puissant et a le mérite d'être infallible. Mais il n'est pas toujours des plus pratiques car il peut générer des dizaines de milliers de clashes pour chaque test dans un projet classique GSE. Il est donc impensable de les parcourir un par un avec la même attention.

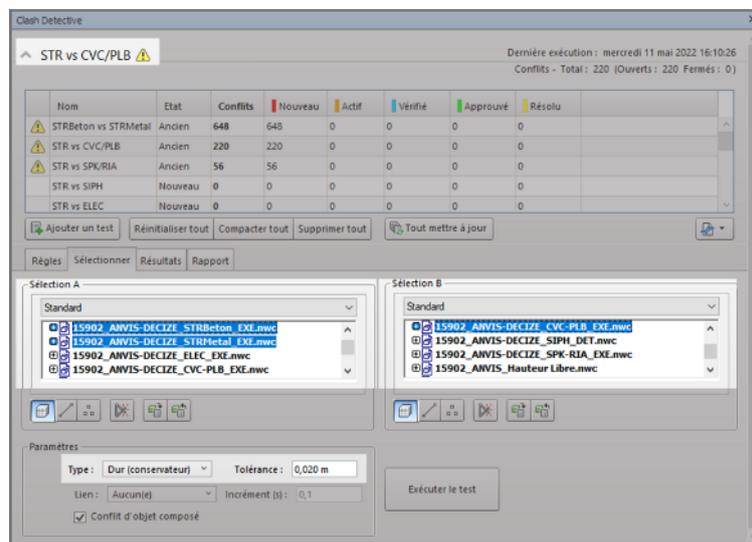


FIGURE 2.4 – Configuration d'une détection automatique de clashes avec le Clash Detective

2.3 Procédures actuelles

Pendant plusieurs semaines, j'ai réalisé une synthèse pour le projet de bâtiment industriel et tertiaire pour l'entreprise ANVIS à Decize(58). Ce bâtiment est composé de 1500 m² de bureaux en R+1 et 10 700 m² de production. C'est un projet propice à l'étude car avec sa double destination bureaux/production et sa dimension standard, il est à l'image des projets les plus classiques de GSE. La Figure 2.5 donne un aperçu du bâtiment lors de ma visite sur le chantier pendant les travaux.



FIGURE 2.5 – Bâtiment de production ANVIS en travaux (19/07/2022)

Je suis intervenue en phase de réalisation afin de faire une synthèse des lots techniques alors que les éléments de charpente étaient déjà en train d'être posés. Chaque semaine, j'ai préparé une synthèse puis animé une réunion en présence des producteurs BIM concernés et de l'Ingénieurs Projet (IP). Le tableau 2.1 présente l'ensemble des contributeurs BIM au projet ainsi que l'étendue de leur action dans le BIM.

Lot	Format de leur maquette	Participation aux réunions de synthèse
Charpente Béton	IFC	
Charpente Métallique	IFC	
CVC/Plomberie	Revit	x
CFO/CFA	Revit	x
Sprinkler	Revit	x
Cloisons modulaires	Revit	
GSE (maquette architecturale, site, siphoides)	Revit	x

TABLE 2.1 – Producteurs BIM du projet ANVIS

2.3.1 Préparation de synthèse

La préparation de synthèse commence par la centralisation de toutes les maquettes à compiler. C'est la plateforme en ligne BIM360 qui nous avons imposée aux contributeurs qui nous permet de récupérer les maquettes des entreprises. Il faut ensuite vérifier l'intégrité et le format des maquettes transmises avant de les inclure à notre processus. Ensuite nous pouvons convertir les maquettes du format Revit en format NWC (cf. partie 1.3.2). Puis on ajoute toutes les maquettes dans un projet Navisworks. Les maquettes fournies au format IFC peuvent être incluses directement. Puis, on applique les apparences souhaitées grâce à l'*Appearance Profiler*.

Ensuite on passe à la détection de clashes que l'on met en évidence dans le projet Navisworks à l'aide de points de vues. Peu importe la méthode employée pour trouver un clash, et qu'il s'agisse d'un clash géométrique ou d'une autre typologie d'anomalie qu'il faudra traiter en réunion, la création d'un point de vue est la seule manière de les répertorier. Il faut bien voir qu'un point de vue est une image du modèle. Les informations attachées au point de vue sont limitées, on peut lui donner :

- Un titre, seules infos textuelles que l'on peut ajouter.
- Des annotations, flèche, ellipse, ligne ou nuage rouge (cf. Figure 2.6).
- Une hiérarchie sous forme de dossiers (cf. Figure 2.7).

C'est la raison pour laquelle le titre du point de vue est souvent long et codifié pour expliciter les disciplines en jeux, la localisation du clash, un identifiant... Mais il appartient au BIM Manager de faire figurer ces informations ou non et selon ses propres règles de nommage.

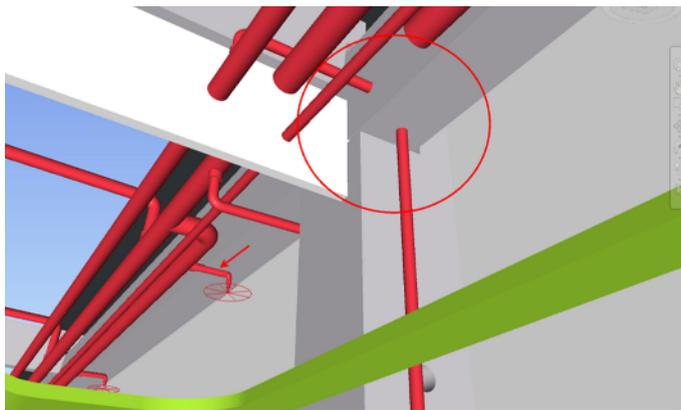


FIGURE 2.6 – Point de vue créé dans Navisworks avec des annotations

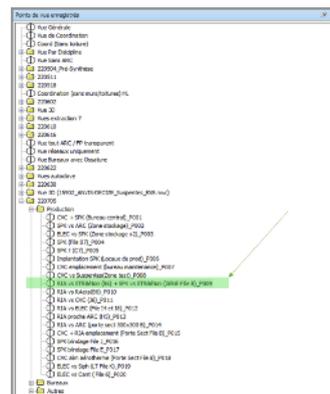


FIGURE 2.7 – Titre du clash dans l'arborescence des points de vue

Cette façon de faire m'a posé deux principaux problèmes. Le premier est le temps que nécessite la création de points de vues. Donner à son point de vue toutes les informations requises et faire la "photo" la plus parlante n'est pas facile. Ceci est principalement dû au fait que la position de la caméra au moment de la capture du point de vue est très importante car les annotations y sont liées. En effet, quand on consulte un point de vue, on peut se déplacer dans la scène à partir de celui-ci, mais les annotations disparaissent dès que la caméra bouge.

Ensuite, je trouve que cette méthodologie n'est pas à la hauteur de la philosophie BIM, et ce pour plusieurs raisons. En premier lieu, les points de vues ne sont pas adaptés à la mise à jour des maquettes car l'apparence des objets n'est pas gardée en mémoire et les couleurs notamment se réinitialisent d'une session sur l'autre. L'intérêt est pourtant de pouvoir comparer les maquettes entre elles régulièrement et de visualiser facilement l'évolution des clashes en incluant les nouvelles mises à jour.

Cela est lié au deuxième problème qui est que la donnée générée par la création d'un point de vue est parfaitement dissociée des maquettes. On ne fait que tirer des images du modèle de coordination et écrire "à la main" leur légende. Alors que le BIM Manager réalise un vrai travail pour que les maquettes soient parfaitement compatibles et créées sur une base commune, le produit de la synthèse n'a a priori aucune espèce de lien avec ces mêmes maquette si ce n'est une localisation peu précise. En réalité le problème majeur est que les points de vue ne sont ni tout à fait de vulgaires images ni de vrais vecteurs avec des données connectées au reste du projet. On ne peut donc pas les trier, ni par discipline, ni par ordre alphabétique. On ne peut pas les localiser précisément, on ne peut pas en tirer d'informations automatiquement... En pratique c'est déjà un problème pour créer les rapports de synthèse que l'on partage aux entreprises comme nous le verrons dans le paragraphe suivant.

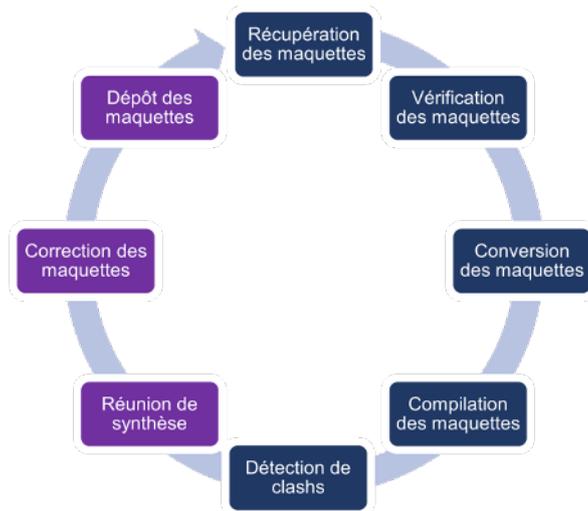


FIGURE 2.8 – Cycle hebdomadaire de préparation et réunion de synthèse - Enola Sengeissen

2.3.2 Réunion de synthèse

Comme le montre le schéma en Figure 2.8, après l'étape de détection de clashes, la synthèse est prête et il s'agit de la présenter aux contributeurs BIM des entreprises concernées. C'est l'objet de la réunion de synthèse qui se tient de manière hebdomadaire en présence des entreprises convoquées lors de la précédente réunion, de l'IP et du BIM Manager qui anime la réunion. Ces réunions se font en visioconférence et le support principal est la maquette de coordination Navisworks dans laquelle le BIM Manager parcourt ses points de vue en partageant son écran.

À chaque point de vue le BIM Manager présente le problème qu'il a identifié. Cela donne lieu à un échange entre l'IP et les entreprises afin d'acter une action corrective. Certains BIM Manager s'avancent sur une solution qu'il écrivent même dans le titre du clash avant la réunion. Les limites du rôle de BIM Manager dans la synthèse sont discutées. Pour certains, il est très clair que l'action doit se limiter à repérer les erreurs. Pour d'autres, il faut se rapprocher de la prestation d'un bureau d'études de synthèse en amenant une solution à chaque problème. Pourtant, même ceux qui adoptent cette philosophie mettent un bémol pour les clash importants. Par clash important on entend ceux pour lesquels la solution n'est pas évidente, qui implique de gros changements, voire de toucher à la structure. De fait, il y a une notion de responsabilité qui rentre en jeu dans l'exercice de synthèse. Comme je le précisais dans le chapitre 1, GSE propose des synthèses non certifiées. Les synthèses réalisées ne se revendiquent donc pas d'une qualité digne d'un bureau de synthèse qui aurait des compétences et des moyens bien supérieurs. C'est pourquoi certains se gardent de proposer officiellement des solutions car on ne leur demande pas cette compétence, et c'est la même raison qui protège ceux qui vont plus loin. Quant aux ingénieurs projets, ils connaissent les compétences des cellules de synthèses externes, et n'ont pas non plus les mêmes attentes avec les synthèses BIM. En conclusion, la synthèse BIM est un service qui vient en support au travail des équipes projets, et selon la compétence du BIM Manager qui la réalise il est naturel pour certains d'entre eux d'aller plus loin dans la préparation.

En tous les cas, à l'issue de la réunion les actions qui sont décidées doivent être actées précisément et, là encore, les méthodes diffèrent. On a la possibilité d'écrire l'action à réaliser directement dans le titre du point de vue, ou bien de répertorier les clash et les commentaires liés dans un autre document, éventuellement un tableur. Le fait d'écrire directement dans les titres a pour avantage de centraliser les informations dans la maquette de coordination qui est ensuite partagée aux entreprises. De plus, la maquette est consultable directement en ligne sur la plateforme BIM360, c'est donc très pratique. Les inconvénients sont ceux de la gestion par

points de vue que j'exposais dans le paragraphe précédent. Les titres des clashes contiennent déjà beaucoup d'information et deviennent lourds. Tenir un autre document peut être avantageux car on n'est plus limité par la place pour décrire les actions. Cela permet aussi de joindre des remarques générales qui ne sont pas nécessairement liées à des points de vue. En revanche, cela multiplie encore les sources d'informations car sachant que les points de vue ne sont pas directement liés aux maquettes dont ils traitent, un document à part l'est encore moins. Aussi, comme les points de vue n'ont pas d'identifiant automatiquement attribué, il n'est pas pratique d'y faire référence dans un document séparé.

2.3.3 Rapport de synthèse

À l'issue de la réunion, chaque entreprise doit corriger ses maquettes (cf. Figure 2.8), les maquettes de GSE, architecture et site peuvent aussi nécessiter des modifications. Pour cela il faut que le compte-rendu de réunion soit exhaustif. Selon la maturité BIM des entreprises, certains vont être agiles avec la maquette de coordination partagée et consulter les points de vue directement dans celle-ci. Sinon, le BIM-Manager crée également un rapport de synthèse selon un template commun au service BIM. Ce rapport pdf contient une page par clash, semblable à la Figure 2.9 avec :

- Le titre du point de vue (1)
- Un aperçu de la position du point de vue dans la maquette (2)
- Un aperçu du point de vue (3)

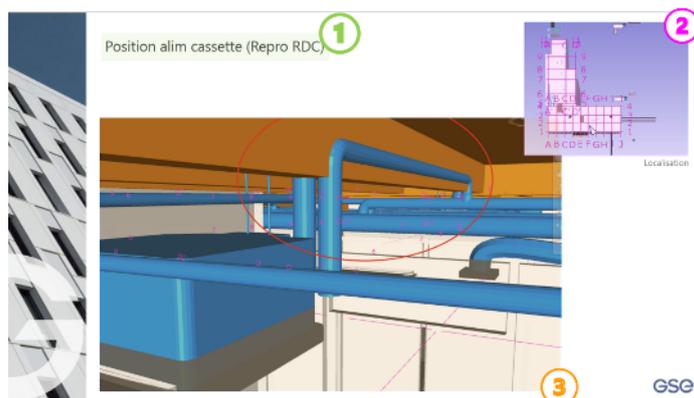


FIGURE 2.9 – Exemple de la présentation d'un point de vue dans un rapport de clash

Le service BIM a créé ce template car les options d'exportation automatique des points de vue du logiciel Navisworks ne sont pas satisfaisantes. Dans les rapports créés automatiquement, les images ne sont pas de bonne définition, et la position de la caméra est donnée en coordonnées géographiques (inutiles dans l'utilisation que l'on a des rapports de synthèse). Ces rapports exportent tous les points de vue de la maquette sans que l'on puisse préciser quel dossier exporter.

Toutefois, le template GSE ne solutionne pas tous ces défauts. Il faut quand même le remplir "à la main" et cela est extrêmement chronophage et source d'erreur, et cela contredit à nouveau la philosophie BIM en dupliquant d'avantage les informations. Il existe bien une macro mise au point en interne pour automatiser le processus mais celle-ci ne fait qu'exécuter en boucle les actions : capture d'écran, copier, changer de fenêtre, [...], coller le titre, changer de fenêtre, etc. Cela est très peu agile, dépendant de l'écran de chaque ordinateur, des programmes ouverts, et cela bloque le l'ordinateur le temps de l'exécution.

C'est pourquoi mon tuteur dont les missions comprennent une part de développement informatique, a commencé à développer un plugin pour le logiciel Navisworks pour encapsuler proprement et efficacement la création de ce rapport. Le chapitre 4 consacré aux développements informatiques reviendra sur ce plugin, que j'ai aidé à finaliser.

Pour les synthèses que j'ai réalisées sur le projet de ANVIS, j'ai au fur et à mesure intégré à mes rapports un tableau récapitulatif que je remplissais pendant la réunion sur Excel avec pour chaque point de vue :

- Le titre
- Un numéro - reporté dans le titre du point de vue dans Navisworks
- Un indice d'importance
- Un commentaire avec notamment l'action corrective et la mise en évidence des disciplines concernées

L'idée était de retrouver le principe d'une base de données, en pouvant reclasser mes points de vue par discipline, ou par importance, pour les présenter en réunion dans un ordre plus opportun. Par contre, mon tableau, que j'incluais dans le compte-rendu de réunion, ne se passait pas du rapport imagé habituel. Là encore, même si le rapport écrit était plus précis, je n'ai fait qu'ajouter une source d'information, et un document de plus dont je n'avais aucune garantie que les entreprises le lisaient. De plus, le tableau n'étant pas lié à la maquette, le moindre changement dans les points de vue (titre, ordre de présentation, numérotation...) impliquait de reporter le changement dans le tableur. Ce n'est donc pas une méthode pleinement satisfaisante.

2.4 Conclusion intermédiaire

Finalement, la meilleure connaissance de la synthèse que j'ai acquise dans ma formation de BIM Manager et que j'ai étendue en interrogeant les autres BIM Manager et quelques ingénieurs projets m'a permis de mettre en évidence des problématiques et des points de leviers pour améliorer la façon de faire les synthèses BIM. Le schéma récapitulatif de la Figure 2.10 montre qu'en croisant les méthodes et logiciels adoptés par GSE mais aussi l'intervention d'acteurs extérieurs, on dégagerait deux sphères d'améliorations. Une dans la théorie de la synthèse BIM : en quoi consiste-t-elle, dans quel but, avec quelle précision ? La partie 3 traitera de ce que j'ai produit dans cette thématique. La deuxième sphère traite de la façon concrète de créer des informations à partir des conflits et de comment partager cette information. C'est dans la partie 4 que je présenterai les développements que j'ai réalisés dans ce sens.

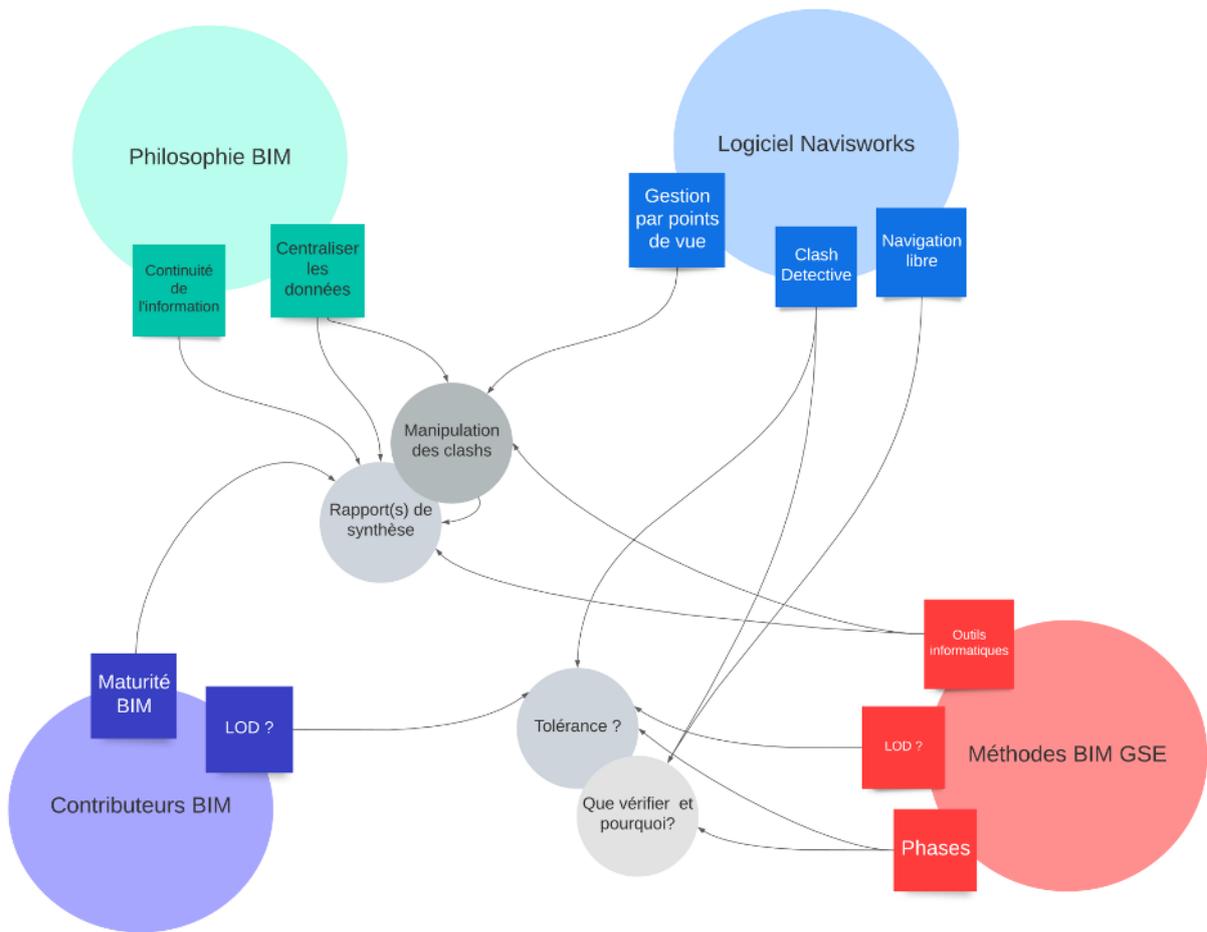


FIGURE 2.10 – Carte mentale des sources de problématiques et des points de levier d'amélioration de la synthèse BIM GSE - Enola Sengeissen

GUIDE DE LA SYNTHÈSE BIM PAR PHASES

CHAPITRE 3

Pour répondre au besoin de la cellule BIM, j'ai écrit un guide de la synthèse BIM présentant pour chaque phase les types de conflits à traiter. L'idée était de disposer d'un répertoire de référence qui détaille les points d'attention à traiter lorsque un BIM Manager fait une synthèse BIM. Ce guide se présente sous la forme d'un manuel illustré qui met en forme une base de données des conflits que j'ai constituée au préalable. La constitution de ce répertoire a été une longue tâche pour laquelle je me suis appuyée sur mes propres synthèses et sur des rapports de synthèse d'autres projets GSE.

Ce travail réponds à deux besoins nés au sein du service BIM. Le premier besoin pour progresser en synthèse est d'en avoir une meilleure connaissance. Redéfinir les objectifs de synthèse et disposer d'un répertoire de conflits permet d'organiser la connaissance ce qui enrichit le savoir collectif. Le deuxième besoin est d'accroître l'efficacité des BIM Manager dans cet exercice. Le répertoire peut servir de guide ou d'aide mémoire selon l'expérience, et permettre d'avancer plus sereinement et plus vite. À titre personnel, j'aurais aimé disposer d'un tel document pour réaliser ma première préparation de synthèse pour être guidée et avertie sur les potentiels conflits existant dans un projet.

3.1 Répertoire des conflits

3.1.1 Base de données

J'ai créé la base de données des conflits dans un tableur Excel. La forme a évolué avec le temps et se présente finalement sous forme d'un tableau dont chaque ligne représente un type de conflit (clash géométrique, non géométrique, point de vigilance...), que l'on appellera "clash" par abus de langage. Chacun a les attributs suivants que l'on retrouve en colonnes dans la Figure 3.1 :

- La phase projet
- Deux disciplines en conflit
- Deux catégories d'éléments en conflits
- Une description
- Une tolérance de vérification
- Une priorité

Phase	Discipline A	Discipline B	Élément 1	Élément 2	Description	Tolérance	Priorité
Etudes	ARC	STR	Objets	Murs	Les murs béton ou murs CF ne doivent pas être interceptés	Dur conservateur 10cm	1
Etudes	ARC	STR	Murs	Poteaux	Vérifier l'alignement de la facade par rapport aux poteaux de facade	Visuel	2
Etudes	ARC	STR	Murs	Longrines	Vérifier l'alignement de la facade par rapport à la longrine	Visuel	2

FIGURE 3.1 – Extrait de la base de données des clashes - base de données complète disponible en annexe C

J'ai doté cette base de données d'un outil de recherche afin de pouvoir visualiser rapidement les clashes selon les paramètres choisis. Une recherche consiste choisir ou de laisser générique le choix de la phase, les disciplines et la tolérance et seules les lignes qui répondent au critère s'affichent. La Figure 3.2 montre un exemple de sélection des conflits ayant la plus haute priorité (Priorité = 1) en phase d'étude entre l'architecture et la structure. On voit également que cela représente trois items sur les 107 actuellement dans la base de données. Cela fonctionne par un jeu de formules et de feuilles cachées dans le tableur. Un tel affichage permet de rendre cette longue liste plus lisible. L'idée de décomposer chaque clash avec des paramètres de maquettes, de types d'objets en conflit, de tolérance est de donner les paramètres clés qui permettent d'utiliser l'outil *Clash Detective* de Navisworks si souhaité.

FIGURE 3.2 – Options de sélections de la base de données

3.1.2 Manuel illustré

En parallèle de la base de données très brute, j'ai créé un manuel illustré dans lequel chaque clash prend cette fois la forme d'un petit tableau qui reprends les paramètres de la base de données et qui rajoute un exemple illustré comme en Figure 3.3.

Disciplines	STR Principale vs Gabarit	Clash	Poteaux vs Quadrillages
Tolérance	Visuel (Revit)		
Description		Exemple	
Mettre à jour le quadrillage vis-à-vis de la STR (poteaux principaux) quand elle évolue. Communiquer la maj aux autres entreprises et la vérifier.			

FIGURE 3.3 – Présentation d'un clash illustré dans le manuel

Le paramètre phase projet désigne les *Études*, la *Réalisation* ou la *Livraison* conformément aux phases définies en partie 2.1. En effet, il était important de rattacher chaque recherche de conflit à un objectif BIM et donc aux objectifs de chaque phases établis plus tôt et rappelés dans le tableau 3.1. J'ai divisé à nouveau chaque objectif pour classer les conflits selon des thématiques précises. L'organisation du manuel suit l'arborescence Phases > Objectifs > Sous Objectifs. Au sein des sous objectifs, j'ai classé les clashes par disciplines communes puis par priorité.

Contre toute attente, en constituant la base de données et en classant les conflits par type je me suis rendue compte que les conflits entre lots techniques, en tout cas entre lots de MEP (Siphonides, et Sprinklage inclus) ne sont pas les plus intéressants à détailler. Ils sont souvent en conflits, mais les problèmes sont assez flagrants et les solutions immédiates. Il m'a paru important quand même de mentionner les trois configurations de clashes géométriques entre lots techniques que j'ai rencontrées. La Figure 3.4 illustre ces trois cas de figure.

Phase	Objectif projet	Objectif BIM	Sous objectifs
Etudes	Elaborer une offre compétitive pour le client	Vérifier les grands principes de dimensionnement Optimiser le bâtiment	Vérifier les surfaces vendues
			Vérifier les circulations
			Vérifier les hauteurs libres
			Valider des principes techniques
			Créer une maquette de communication avec le client
Réalisation	Exécuter les travaux et assurer la rentabilité	Valider les plans d'exécution des entreprises Anticiper les erreurs chantiers	Respecter les hauteurs libres
			Assurer la compatibilité avec le process client
			Organiser précisément le passage des lots techniques
			Assurer une cohérence géométrique
Livraison	Faciliter la compréhension et la gestion du bâtiment	Adapter les maquettes numériques à la réalité	Avoir une représentation visuellement proche de la réalité
			Avoir une représentation techniquement proche de la réalité

TABLE 3.1 – Objectifs BIM auxquels doivent répondre les synthèses de chaque phase

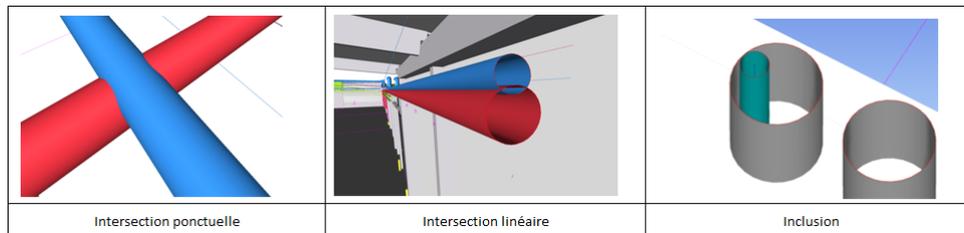


FIGURE 3.4 – Configurations de conflits entre lots techniques rencontrées en projet

3.2 Tolérance

3.2.1 Un paramètre difficile à évaluer

La notion de tolérance a été difficile à appréhender car d'une part, la précision est un sujet complexe comme on l'a montré en partie 2.2.2, et d'autre part il est délicat de préconiser une tolérance spécifique au risque qu'elle n'englobe pas certains cas particuliers. Au contraire, si on voulait être sécuritaire il suffirait de préconiser la tolérance 0 systématiquement, mais le paramètre n'aurait plus d'intérêt. Ce paramètre mérite donc d'être testé avec prudence, et éprouvé dans des cas de figure variés pour être ajusté ou validé.

Dans un premier temps, je me suis penchée sur l'influence du paramètre *Tolérance* du *Clash Detective* pour mettre en évidence son impact dans la détection de clash. Pour trouver la "bonne" tolérance à renseigner dans mon répertoire, j'ai fait des tests dans le projet ANVIS. J'ai pris quelques clashes du projet que j'avais repérés "à l'oeil nu" en préparation de synthèse et je me suis demandé pour chacun : *"À partir de quelle tolérance l'aurais-je trouvé dans une recherche de conflit du Clash Detective?"*

Pour chaque clash testé j'ai confronté les maquettes concernées dans le Clash Detective avec une tolérance de 30 cm. Puis, j'ai affiné cette tolérance jusqu'au centimètre. Lancer des calculs avec une tolérance sous le centimètre n'a pas beaucoup de sens car le centimètre équivaut à la précision maximale que l'on puisse avoir en synthèse BIM en considérant les erreurs de modélisation et la tolérance de pose sur chantier, qui sont de l'ordre du centimètre également. La tolérance à partir de laquelle le Clash Detective retrouve un conflit dépend fortement du type de conflit et des maquette impliquées. En effet, lorsqu'on implique la maquette architecture, qui contient des éléments volumineux et beaucoup de grandes surfaces, on retrouve facilement des clashes à partir de 10 cm. En revanche quand on cherche un clash entre deux réseaux de lots techniques, qui contiennent beaucoup d'éléments quasi linéaires, on a souvent besoin d'une tolérance de 1 cm. Il faudrait se garder de faire des généralités à partir de ces observations car elles se basent sur trop peu de tests qui ne forment pas une population statistique exploitable. Il faudrait pour cela produire une grande quantité de tests or le Clash Detective produit rapidement des milliers voire des dizaines de milliers de résultats ce qui rend impossible la recherche d'un conflit précis.

3.2.2 Influence du paramètre tolérance

On peut considérer que l'abaissement du seuil de tolérance correspond à l'augmentation de la précision. Je me suis aperçue qu'il était intéressant de regarder le rapport entre la diminution de la tolérance, ou l'augmentation de la précision, et l'augmentation du nombre de résultats. Il est alors nécessaire de distinguer aussi le nombre de résultats du nombre de clashes différents qu'il décrivent. À titre d'exemple, on voit en Figure 3.5 en vert et rouge les deux éléments en conflits qui génèrent quatre clashes. Ici ce sont en vert deux canalisations, et leurs isolations, qui "clashent" avec un pan de mur béton, en rouge, dans lequel les carottages prévus n'ont pas été modélisés. En réalité, ces quatre même clashes se reproduisent sur l'autre face du mur, et ce sont donc huit résultats du Clash Detective qui décrivent un seul et même conflit qui, en plus, n'existe que dans le modèle numérique et est déjà géré dans la réalité.

Au cours des tests, j'ai remarqué plusieurs fois que je retrouvais le clash recherché à partir d'une tolérance de 10 cm. C'était le cas pour un conflit qui opposait la maquette architecture aux maquettes de CVC et d'électricité qui passaient à travers un mur. Comme le Clash Detective générant un nombre raisonnable de résultats pour un test entre ces deux maquettes j'ai tenté de faire des statistiques sur cet exemple. À chaque nouvelle tolérance j'ai compté les résultats et j'ai regroupé ceux qui décrivaient le même problème pour décompter un nombre de clashes réels. on obtient le graphique 3.6.

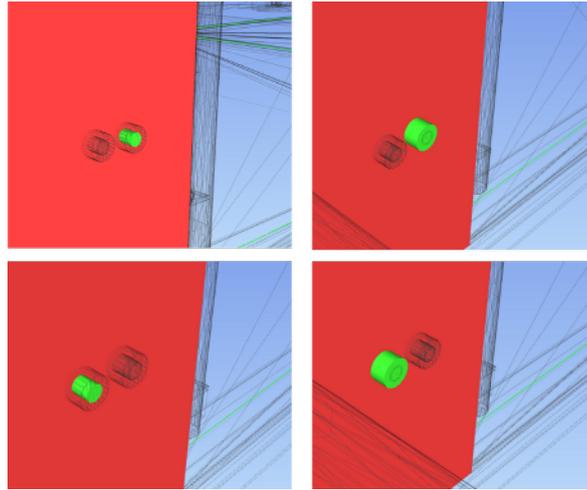


FIGURE 3.5 – Aperçu de quatre résultats du Clash Detective décrivant le même conflit

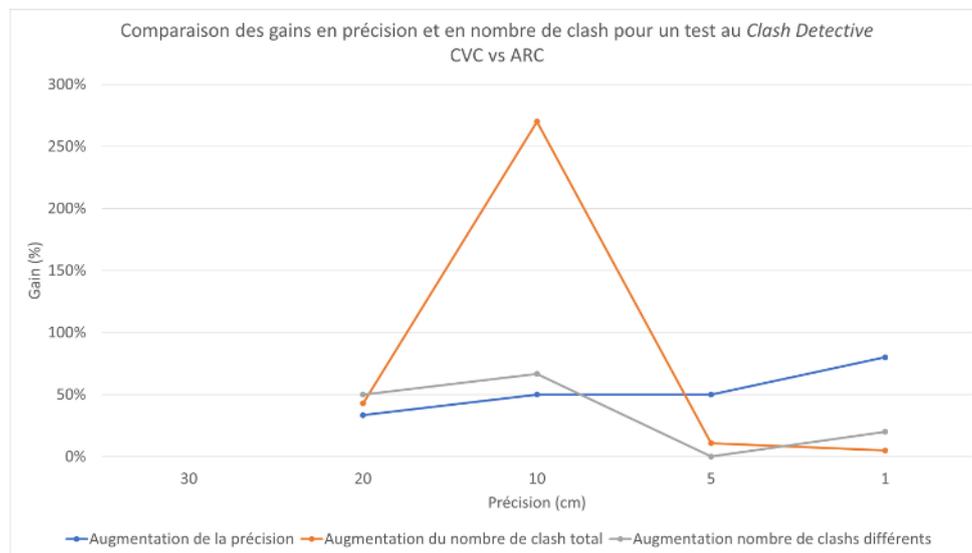


FIGURE 3.6 – Graphique des comparaisons de gains en précision et gain en nombre de clashes pour la comparaison maquette architecture versus électricité & CVC - Enola Sengeissen

On s'intéresse ici au gain en pourcentages pour comparer l'évolution de deux paramètres d'unités différentes. Il faut lire le graphique de la manière suivante : lorsque l'on passe de 30 à 20 cm de tolérance, on augmente la précision de 33 % et le nombre de résultats est augmenté de 43 %. Le résultat qui saute aux yeux apparaît lorsqu'on atteint la tolérance de 10 cm : alors qu'on a ré augmenté la précision de 50 %, le nombre de résultat augmente de 270 %. Par contre, quand on augmente à nouveau la précision de 50 % en passant à une tolérance de 5 cm, le nombre de clashes augmente moins significativement qu'à l'étape d'avant. Finalement, lorsqu'on arrive à la précision ultime de 1 cm en ré augmentant de 80 % la précision, le nombre de clashes n'augmente que très peu (5 %). Cette mécanique est encore plus flagrante si on passe directement de la tolérance 10 cm à 1 cm : on augmente la précision de 90 % pour ne trouver que 2 % de clashes réels en plus.

Ce graphique suggère deux lectures. La première veut qu'on ait l'impression que le fait d'augmenter fortement la précision "ne vaut pas le coup" car ne génère pas une augmentation significative du nombre de clashes. En réalité la deuxième lecture est qu'il faut parfois aller jusqu'au centimètre pour avoir accès à des résultats qui n'apparaissent pas avant. De plus, si l'on choisit d'utiliser un outil informatique, c'est bien pour détecter l'intégralité des conflits.

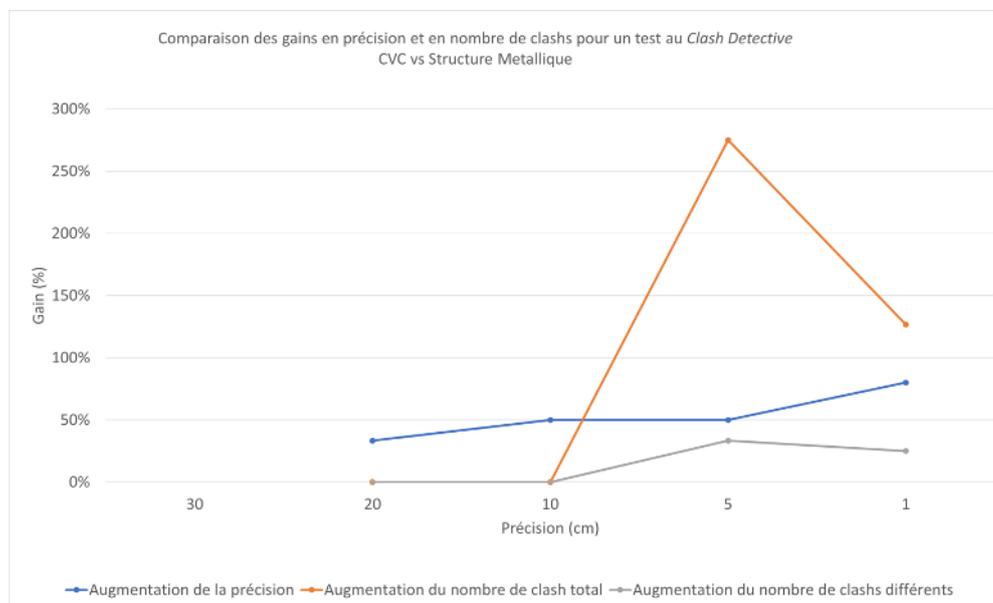


FIGURE 3.7 – Graphique des comparaisons de gains en précision et gain en nombre de clashes pour la comparaison maquettes structure métallique vs CVC - Enola Sengeissen

Un autre exemple montre une tendance similaire mais le pic d'augmentation est cette fois centré sur la tolérance de 5 cm (cf. Figure 3.7). On compare cette fois la maquette de structure métallique et la maquette de CVC. Ici il n'y avait même aucun résultat pour les tolérances de 30 et 20 cm. La maquette de structure métallique est en effet composée d'éléments plus fins et longilignes que la maquette d'architecture. La maquette de CVC comportant également des éléments linéaires, il s'entend que l'ordre de grandeur des objets et des conflits diminue par rapport à la configuration précédente.

Un autre paramètre est lié à la tolérance dans l'utilisation du Clash Detective. C'est la méthode de calcul appelée "type" dans la fenêtre de configuration. Celle-ci est surtout importante pour les disciplines de MEP car les surfaces sont souvent courbes (canalisations et gaines cylindriques). C'est pourquoi je précise également dans la base de données si le calcul doit être fait en mode "Dur" ou "Dur Conservateur". La Figure 3.8 schématise le cas où pour une même tolérance, un conflit n'est détecté qu'en mode "Dur conservateur". Pour appuyer ce phénomène, le tableau 3.2 montre dans un cas réel qu'avec la méthode "Dur" les intersections de 2 ou 3 cm ne sont détectables que si l'on abaisse la tolérance en dessous du centimètre.

Le paramètre de tolérance est très important et tient un rôle décisif dans l'exercice de synthèse pour ce qui est des conflits géométriques. Dans le cadre de la détection de clashes automatique dans Navisworks, travailler avec une tolérance trop grande conduit à un risque d'oubli de clashes, travailler avec une tolérance trop fine conduit à une quantité de résultats parfois inexploitable. La réponse parfaite n'existe pas. Par contre lorsqu'on cherche manuellement les conflits, il est important de savoir à quelle tolérance on doit placer notre jugement et c'est aussi pour cette raison que j'ai ajouté un paramètre de tolérance indicative dans mon guide. En effet, il faut rappeler que la grande majorité des conflits se trouvent visuellement sans l'aide du Clash Detective.

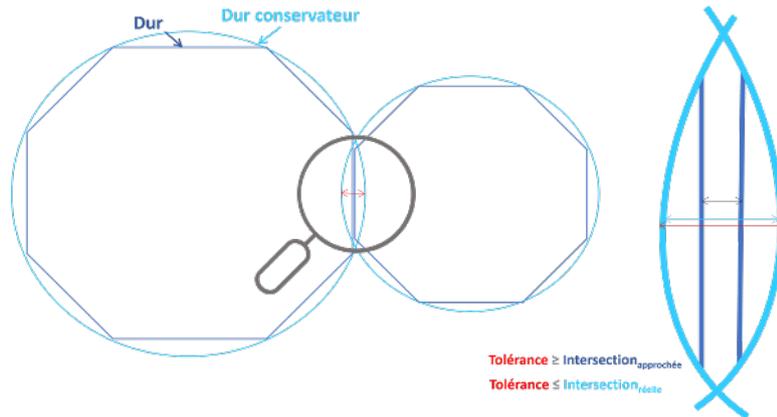


FIGURE 3.8 – Schéma du rapport entre la tolérance et la méthode de calcul dans le cas de deux éléments cylindriques - Enola Sengeissen

Tolérance/Méthode	Dur	Dur conservateur
3 cm		□
2 cm		□◇
1 cm	□	□◇
0.8 cm	□◇	□◇

□ Intersection 3 cm ◇ Intersection 2 cm

TABLE 3.2 – Détection des intersections selon la tolérance et le mode

Enfin, il en va de rappeler que bon nombre de conflits trouvés en synthèse ne sont détectable qu'à l'oeil nu et que par le jugement humain qui connaît le projet et la destination des objets. Le Clash Detective ne permettra jamais de savoir qu'une attente d'évacuation d'eau de pluie n'est pas axée à la descente d'eau de pluie. Au cours des synthèses que j'ai réalisées sur le projet de ANVIS, ces clashes visuel pouvaient représenter jusqu'à un tiers de tous les points de vues enregistrés.

3.3 Priorités

On a compris avec la recherche du paramètre de tolérance que l'on recherche l'exhaustivité, pour autant il n'est parfois pas possible de découvrir tous les problèmes dès la première synthèse. J'ai donc ajouté un paramètre de priorité sur une échelle de 1 à 3 qui donne une idée de l'enjeu à détecter tel ou tel conflit. C'est à partir des principales contraintes exposées ci-dessous que j'ai défini les ordres de priorités de l'ensemble des conflits de la base de données.

3.3.1 La structure

Quelle que soit la phase, la structure principale qui est souvent une charpente béton, a le rôle de contrainte et non de paramètre. En d'autres termes, ce sont les autres lots qui doivent s'adapter à cette structure. Il est assez fréquent de retrouver des conflits car la structure contient de gros volumes et des grandes surfaces comme on peut le voir en Figure 3.9. C'était le cas dans les synthèses que j'ai faites car dans le projet de ANVIS qui était en exécution, la charpente béton était déjà posée. Il n'est pas question de la modifier car comme son nom l'indique elle est structurante et des modifications peuvent difficilement être réalisées d'un point de vue technique et financier. En phase d'études, la structure peut être modifiée mais c'est souvent en dernier recours. Elle sert également de contrainte pour tout le reste car elle délimite les surfaces vendues.

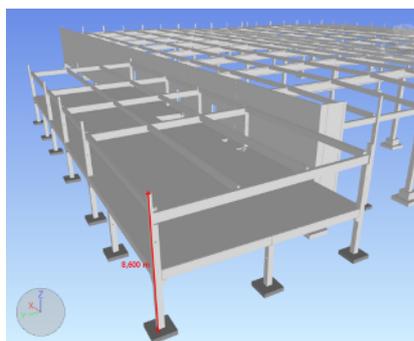


FIGURE 3.9 – Aperçu de la maquette de la structure béton du projet ANVIS

3.3.2 Les dimensions vendues

La vérification des surfaces est un autre point crucial qui comporte également la vérification des unités de passage (UP) dans les circulations, les escaliers, etc. qui est une des priorités fondamentales. C'est le cas surtout en phase d'études dans laquelle l'agencement des éléments est encore provisoire. Ce sont par exemple les poteaux de la structure qui peuvent impacter les UP selon leur implantation comme en Figure 3.10.

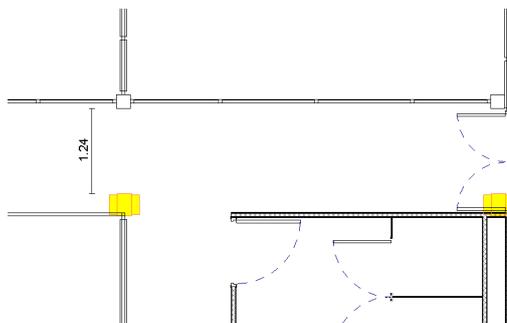


FIGURE 3.10 – Exemple où les poteaux de la maquette de structure bois (en jaune) impactent les unités de passage dans la circulation

En plus des surfaces contractuelles, la garantie d'une hauteur libre demande une vigilance toute particulière. En effet, les bâtiments sont conçus et vendus pour accueillir des unités de production propres à l'activité des clients. Ce dernier a donc besoin de la garantie d'une hauteur libre pour son *process*. Dans les locaux tertiaires, l'équivalent est la hauteur sous plafond. Elle est plus facilement modifiable mais peut également représenter un vrai enjeu vis à vis de la structure. Par exemple dans mon projet, un des problèmes les plus longs à résoudre a été de faire passer la MEP entre une poutre et le faux plafond au niveau de la circulation principale des bureaux. La poutre en question était trop épaisse et il n'y avait qu'une dizaine de centimètres pour faire passer gaines et autres canalisations(cf. Figure 3.11). Après plusieurs semaines d'essais et de discussions, la solution a été de dévier ces réseaux dans une pièce parallèle à destination "technique" dans laquelle nous avons pu faire un décaissé de faux plafond. Une des canalisations a également pu être divisée en deux et passée à proximité du poteau pour être cachée dans le coffrage du corbeau comme on le voit sur la Figure 3.12. Dans ce contexte, le BIM a été très utile pour détecter le problème, dessiner et visualiser rapidement les nouvelles options, et enfin communiquer avec le client sur le rendu final des modifications de faux plafond.

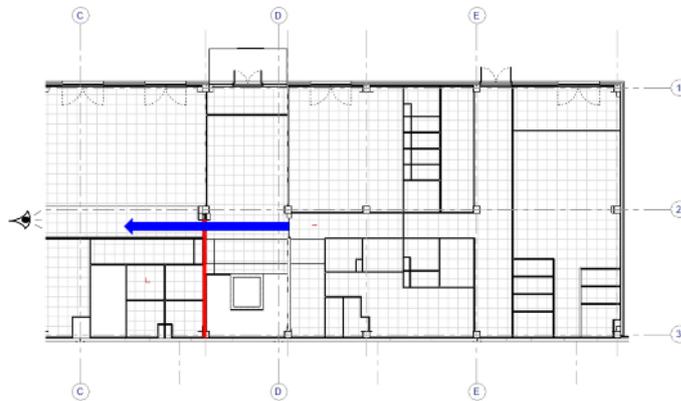
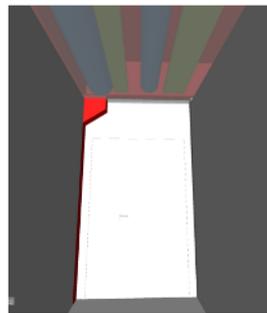


FIGURE 3.11 – Configuration problématique : la hauteur de plafond et l'épaisseur de poutre (en rouge) ne permettent pas de passer les réseaux de CVC

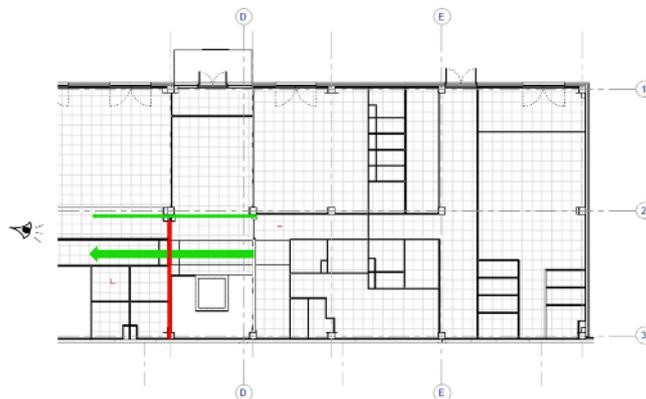
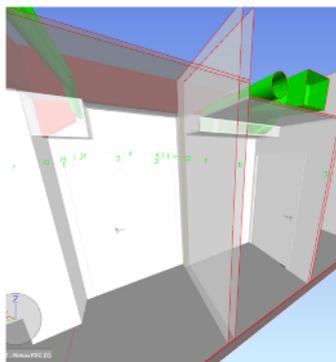


FIGURE 3.12 – Solution : réduction du diamètre et détournement des canalisations ainsi que baisse localisée de la hauteur sous plafond

3.3.3 Le process client

La question de la synthèse avec le *process* est un point sensible. En effet, la synthèse avec le process n'est pas contractuellement due, pourtant dans la réalité cette synthèse est réalisée et devient même un des points sur lesquels on doit être le plus attentif. Il est tacitement entendu que le bâtiment ne sert plus à rien si il ne peut pas accueillir les lignes de productions pour lequel il a été construit. Ainsi, les clients communiquent volontiers des plans d'implantation et de la documentation au sujet de leurs machines pour que l'on intègre ces contraintes à nos synthèses. Parfois on dispose d'une maquette numérique modélisée par l'entreprise qui fournit le *process*, parfois pas et l'on modélise des volumes de principe pour prendre en compte les volumes les plus critiques.

3.3.4 Les lots soumis à forte réglementation

Enfin si on rentre dans le détail des lots techniques, le plus contraignant est le [sprinklage](#) car cette discipline est très réglementée. Quand un principe est défini, il est assez compliqué de le modifier à cause des normes et des réglementations qui sont très strictes. C'est aussi ce qui laisse l'opportunité aux entreprises de sprinklage d'être moins attentives aux décisions prises en synthèse, car elles sont protégées par leur réglementation qui ne laisse pas beaucoup de marge de manoeuvre. Il est important d'avoir à l'esprit aussi que même si les autres disciplines s'adaptent au réseaux de sprinklage définis, des modifications de sprinklage peuvent être nécessaires. C'est ce qu'on appelle le "blindage" des têtes de sprinklage dont la zone d'aspersion ne doit pas être obstruée. Si tel est le cas, il faut implanter de nouvelles têtes. Ici aussi le sur-coût n'est pas négligeable.

De même, le placement des équipements de sécurité tels que les [Robinets d'Incendie Armés \(RIA\)](#) sont prioritaires sur les autres lots mêmes si ils sont placés après. Les RIA doivent pouvoir rotationner et couvrir une surface réglementée. Dans la Figure 3.13, le RIA est gêné dans sa rotation par un mur. L'entreprise va déplacer le RIA et est prioritaire sur le boîtier de prises (maquette électricité) sur les faces du poteau.

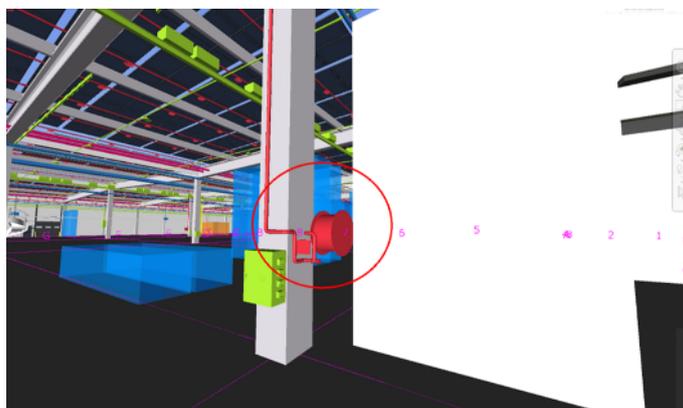


FIGURE 3.13 – RIA à déplacer

4.1 Objectifs

L'état de l'art du chapitre 2 a montré que le travail à faire pour améliorer la synthèse BIM portait également sur les outils informatiques (cf. Figure 2.10). Dans le domaine du BIM, le choix des logiciels est encore limité mais se diversifie avec les années. Chez GSE comme chez beaucoup de ses interlocuteurs, c'est la suite Autodesk qui répond le mieux aux besoins de modélisation, de visualisation, et de collaboration. Toutefois, nous avons eu un aperçu en partie 3 de certaines limites du logiciel Navisworks pour la détection et la gestion des conflits. Entre autres :

- Les clashes sont répertoriés par point de vue :
 - Il n'y a que le titre qui contient des informations textuelles
 - On ne peut pas extraire facilement ces informations
 - On perd les annotations en bougeant la caméra
- Communication :
 - Les rapports de points de vue du logiciel sont incomplets
 - Les rapports de synthèse sont longs à éditer
 - La localisation des conflits n'est pas explicite

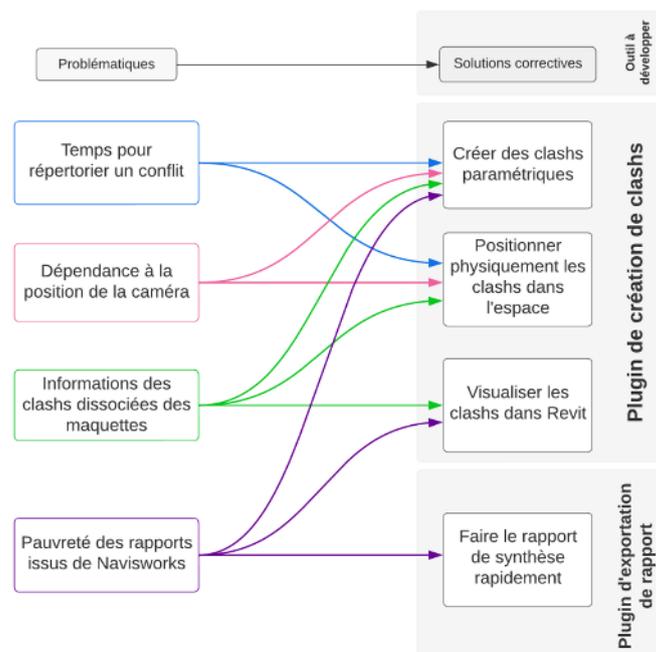


FIGURE 4.1 – Problématiques et solutions à apporter dans les outils à développer

Le logiciel Navisworks peut être enrichi de plugins. J'ai donc cherché à proposer un plugin dont les fonctionnalités étaient innovantes par rapport aux possibilités de base du logiciel, mais qui réponde surtout aux problématiques rencontrées en pratique (cf. Figure 4.1).

Il était donc judicieux de développer un nouveau plugin pour permettre de répertorier les clashes d'une manière différente de la gestion par points de vue. Ce plugin n'avait pas vocation à être immédiatement utilisé par tous les BIM Manager et à remplacer totalement la gestion par points de vue mais à proposer une alternative et à explorer les possibilités qu'offraient l'API Navisworks. Il est également question dans le schéma 4.1 d'un plugin d'exportation de rapport de clashes. C'est le plugin développé par mon tuteur qui permet de créer un rapport des points de vues sous forme de diapositives. Ce plugin était resté en suspens car les annotations des points de vue ne s'exportaient pas. J'ai donc commencé à me plonger dans le développement et à manier l'API en me penchant sur ce problème pour lequel j'ai trouvé une solution.

4.2 Environnement de travail

4.2.1 Logiciels et langages de programmation

Navisworks possède une API qu'il suffit de télécharger pour développer des plugins. Elle se décompose en réalité en trois API :

- *.NET* permet de créer des plugins ou des automatisations.
- *COM* est l'ancêtre de *.NET*. Certaines fonctionnalités de *COM* n'ont pas encore été implémentées en *.NET*.
- *nwcreate* sert à créer des fichiers Navisworks contenant des géométries, des propriétés etc.

.NET et *COM* sont utilisables avec les langages Visual Basic *.NET* ou Visual C# alors que *nwcreate* est utilisable en C ou C++. Je ne maîtrisais pas l'utilisation de ces langages mais étant issue d'un cursus en géomatique, j'avais pour prérequis de bonnes bases en programmation et une connaissance diverse des langages de programmation. Je me suis donc adaptée en peu de temps au C# et C++. Ce sont des langages de programmation compilés c'est à dire qu'il faut exécuter les scripts pour qu'ils soient convertis en "langage machine" et ce sont les fichiers créés par cette compilation qui sont utilisés par les logiciels qui les exécutent.

Ce sont également des langages de **Programmation Orientée Objet (POO)**. La **POO** est un paradigme de programmation dans lequel tout est considéré comme objet. Un objet peut représenter un objet concret comme une maquette BIM, ou plus abstrait comme une fonctionnalité d'un plugin. Un objet a des attributs (des propriétés) et des méthodes (des fonctions) qui sont définis dans la classe dont l'objet est issu. La Figure 4.2 est un exemple fictif qui ne correspond pas à une classe de mon plugin. Un objet qui implémenterait la classe *Maquette*, qu'on appelle une *instance* de la classe, aurait deux attributs : un *nom* de type chaîne de caractère (string), et une *dateModif* de type date. Il aurait deux méthodes *getVersion()* qui prend en entrée une date et qui retourne un entier et *colorier()* qui n'a ni entrée ni sortie et qui appliquerait une apparence de couleur à la maquette.

La POO facilite le découpage des fonctionnalités et donc la modification du code. C'est donc très adapté à la situation pour que mon code soit facilement étendu ou repris par l'entreprise à l'issue du TFE. L'orienté objet permet aussi de représenter schématiquement l'architecture des programmes et leur fonctionnement grâce au langage **Unified Modeling Language (UML)**. Ce langage normalise la conception des programmes orientés objet de façon générique et indépendamment du langage de programmation choisis. Comme dans la Figure 4.2, je reprendrai les concepts UML dans les schémas suivants de cette partie.

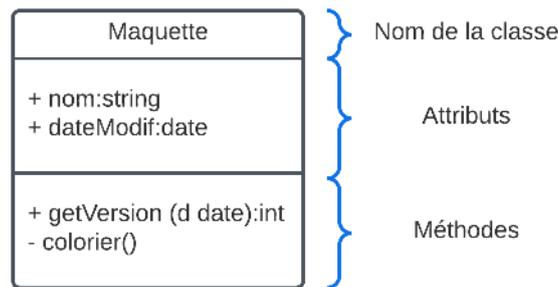


FIGURE 4.2 – Exemple de la définition d’une classe en représentation UML - Enola Sengeissen

La programmation avec l’API Navisworks se fait grâce à un éditeur de code. C’est avec Visual Studio que j’ai travaillé car l’application permet de compiler les langages requis. Elle permet aussi d’importer automatiquement le code du Plugin dans le logiciel Navisworks à chaque compilation pour pouvoir tester le code en temps réels. En support, je me suis référée aux documentations du C++ [7] et du C# [6] et surtout aux documentations des API livrées avec l’installation. Il faut savoir que cette API n’est pas très utilisée comparée à celle de Revit par exemple. La documentation n’est pas toujours très complète et il y a peu d’exemples de code sur internet desquels s’inspirer. Il y a quand même un blog Autodesk, l’AEC DevBlog qui contient des articles [5] et un forum qui m’ont grandement aidée.

4.2.2 Architecture de données de Navisworks

L’API est un ensemble de classes qui correspondent à des concepts de Navisworks. Comme je l’expliquais, chaque classe contient des attributs et des méthodes et certaines d’entre elles correspondent à des fonctionnalités auxquelles on a accès directement dans le logiciel Navisworks de base. Ainsi, comme on le voit sur la Figure 4.3, l’ensemble du logiciel Navisworks est une instance de la classe *Application*, un projet Navisworks correspond à un objet de la classe *Document* de l’API, une maquette de l’arborescence est une instance de la classe *ModelItem*, etc. Il existe ainsi des centaines de classes dans l’API.

En travaillant sur le plugin d’export de points de vues de Damien, j’ai modélisé un diagramme de classes très simplifié contenant les classes en lien avec les points de vue et leurs caractéristiques utiles afin de mieux comprendre les liens entre elles dans l’API. Ce diagramme est en annexe D.

J’ai plus précisément étudié l’architecture au niveau des classes qui gèrent les points de vue dans l’optique de mieux comprendre le problème de l’export des annotations qui ne fonctionnait pas. Une des principales difficultés est de saisir que les points de vue enregistrés, les points de vue, et les vues sont des choses différentes dans l’API alors que l’on voit la même chose à l’écran en utilisant le logiciel.

Les annotations que l’on voit sur un point de vue sont propres à la configuration qui était celle de la vue active au moment de l’enregistrement du point de vue. Aussi avec l’API, les annotations ne peuvent être extraites qu’à partir de la vue active (voir diagramme de classe en annexe D). En réalité dans le plugin, ces subtilités étaient bien gérées. En réalisant le diagramme de classe et me plongeant dans la documentation de l’API, j’ai trouvé une méthode et plus particulièrement un de ses paramètres qui permettait d’exporter les annotations avec l’image de la vue active. J’ai fait des tests concluants et j’ai laissé à mon tuteur le soin d’inclure cette découverte dans son code pour le finaliser.

Après ces recherches, j’avais bien pris en main l’API et les outils et j’ai pu développer mon propre plugin avec de nouvelles ambitions.

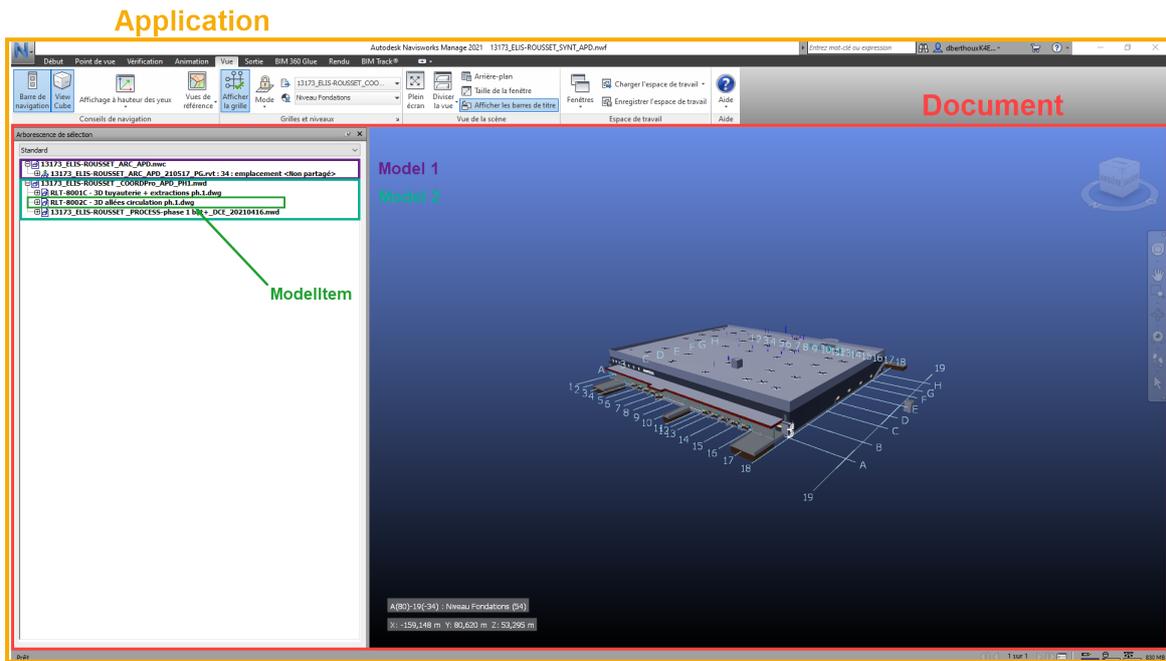


FIGURE 4.3 – Correspondance entre les éléments de l’interface Navisworks et l’API .NET - Damien Berthoux

4.3 Développement du plugin de création de clashes

4.3.1 Cas d'utilisation

La première partie de ce chapitre présentait le besoin. Ce que je propose avec mon plugin est de pouvoir créer une maquette tierce dans laquelle chaque clash est représenté par une petite sphère qui contient des paramètres qui sont ceux que l'on écrit habituellement bout à bout dans le titre des points de vue. De cette façon les clashes deviennent des objets à part entière qu'il est possible d'exporter et dont on peut visualiser, extraire ou ordonner les informations à souhait. Ce concept de visualisation par sphère existe déjà dans des solutions de synthèse vendues par des fournisseurs de logiciels, mais l'utilisation de leurs outils est trop compliquée pour que GSE y souscrive de manière permanente.

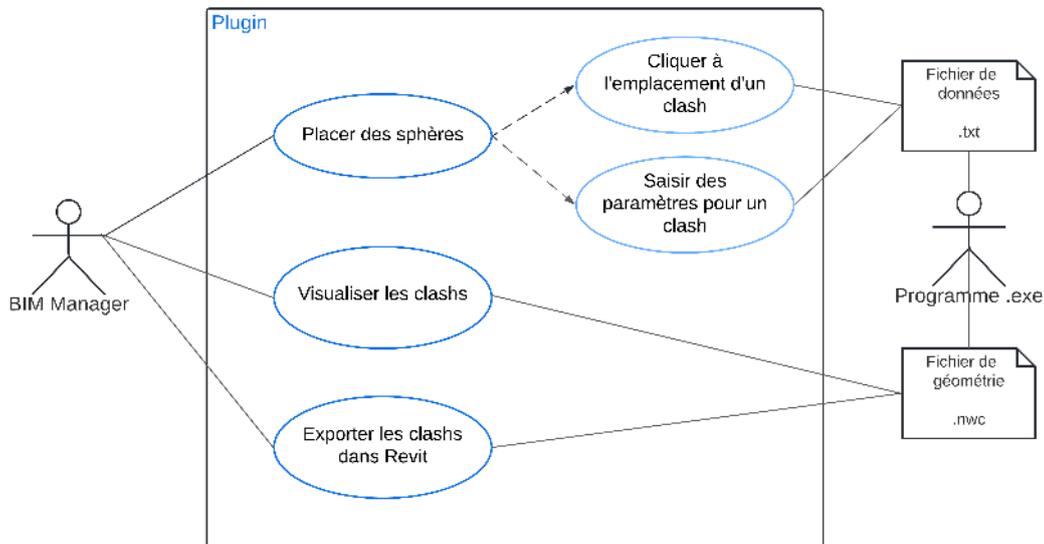


FIGURE 4.4 – Diagramme UML de cas d'utilisations du plugin - Enola Sengeissen

Le diagramme UML de la Figure 4.4 montre les cas d'utilisation concrets auxquels répond le plugin. L'utilisateur est le BIM Manager. Dans un premier temps, il détecte un conflit et il veut créer un clash paramétrique à un endroit précis c'est à dire placer une sphère. Il va donc cliquer à la surface d'un des objets concernés pour définir l'emplacement de sa sphère et renseigner les paramètres du conflit dans une boîte de dialogue. C'est l'étape représentée Figure 4.5. Un acteur secondaire ici est le fichier texte qui va stocker les données.

Ensuite l'utilisateur souhaite visualiser les clashes dans Navisworks et un bouton lui permet de visualiser les sphères, tel que sur la Figure 4.7. Pour cela c'est l'acteur secondaire qui est le fichier NWC contenant les sphères dont on visualise le contenu.

Enfin si le BIM Manager souhaite visualiser ces mêmes sphères dans Revit, il a accès au fichier NWC les contenant et il peut l'importer dans Revit. On voit également le programme exécutable qui fait le lien entre les fichiers de données .txt et le fichier de géométrie NWC. Le diagramme de cas d'utilisation de ce programme est en Figure 4.6 ci-dessous :

Ici l'utilisateur n'est pas humain, c'est le Plugin qui "utilise" le programme externe. D'abord, le plugin souhaite qu'une sphère soit créée. Elle doit être créée à un endroit précis et contenir les paramètres donnés dans le fichier de données .txt qui se retrouve à nouveau comme acteur secondaire. Ensuite le Plugin souhaite que les géométries définies soient écrites dans un fichier de géométrie. Le programme écrit et enregistre le fichier de géométrie NWC. Pour finir le plugin souhaite importer le fichier de géométrie dans le projet Navisworks, il dispose alors du fichier précédemment enregistré.

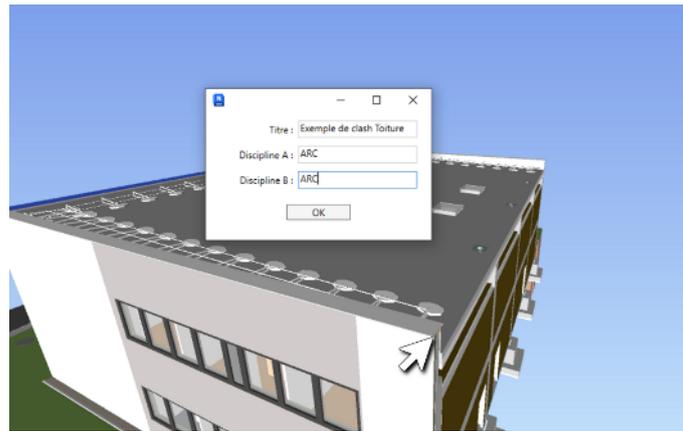


FIGURE 4.5 – Boite de dialogue pour saisir les informations d'un clash au clic

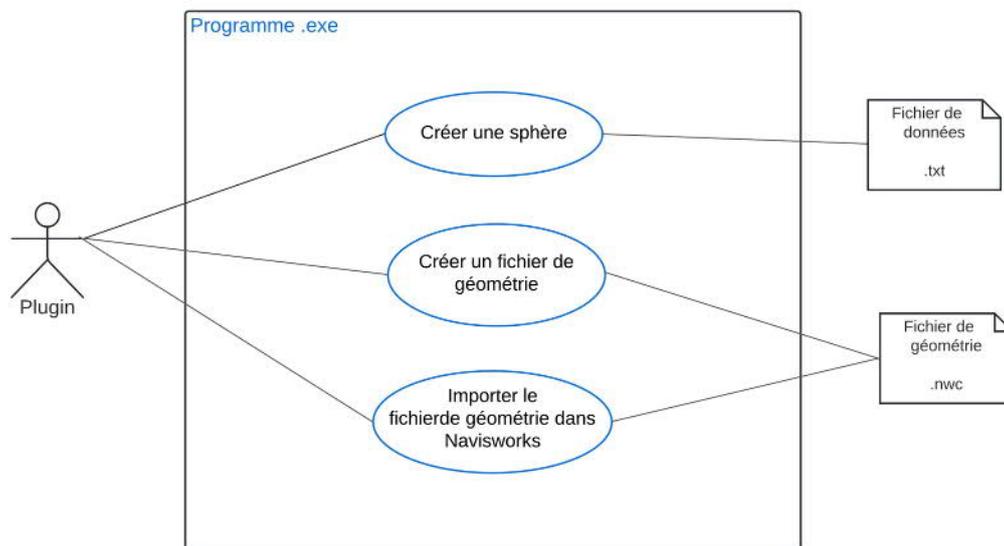


FIGURE 4.6 – Diagramme UML de cas d'utilisations de l'exécutable - Enola Sengeissen

Le résultat final dans Navisworks illustré en Figure 4.7 permet bien de visualiser l'ensemble des clashes d'un seul coup d'oeil et de pouvoir lier leurs informations et leur situation géographique. Comme on peut le voir, en sélectionnant la sphère dans l'angle du bâtiment, on la voit en surbrillance dans la fenêtre active (en bleu) et dans l'arborescence de sélection du projet, avec toutes les autres sphères. On a également accès à ses propriétés qui sont celles choisies au moment de la saisie (cf. Figure 4.5).

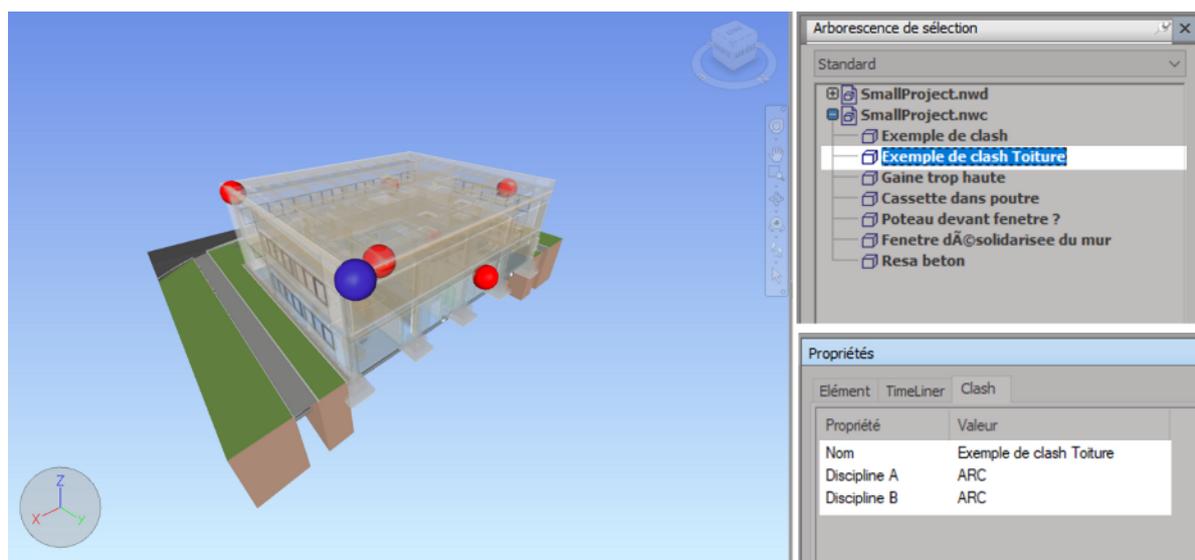


FIGURE 4.7 – Affichage des sphères avec l'arborescence et les paramètres

4.3.2 Fonctionnement

Les fonctionnalités du plugin sont assurées par deux développements quasiment indépendants. Le premier est un plugin à proprement parler développé grâce à l'API .NET. L'autre est le développement d'un programme externe qui est appelé au cours de l'exécution du plugin.

La partie plugin est elle-même composée de deux étapes qui correspondent également à deux boutons visibles par l'utilisateur : un pour la saisie, l'autre pour l'affichage. Il existe plusieurs types de Plugin dans l'API qui sont inter-opérables. Notre premier bouton, ie. notre première fonctionnalité est de type InputPlugin. Elle gère le passage d'informations de l'utilisateur vers l'application telles que le clic où les paramètres de clash et les stocke dans un fichier texte. La Figure 4.8 est le diagramme d'activité de cette partie.

Le deuxième bouton commande la deuxième fonctionnalité, de type AddInPlugin, qui importe dans Navisworks un fichier NWC qui contient les sphères. En réalité c'est le programme externe qui crée ce fichier, et ce programme est exécuté depuis le AddInPlugin.

Ce programme externe a donc été développé à part. En effet, j'avais besoin de créer des géométries dans Navisworks et cela est uniquement possible avec l'API nwcreate or cette API ne communique pas directement avec l'API .NET utilisée pour le plugin principal. En revanche, depuis le script du plugin principal il est possible de lancer un exécutable indépendant avec des commandes C# classiques. J'ai donc opté pour cette solution qui a fonctionné.

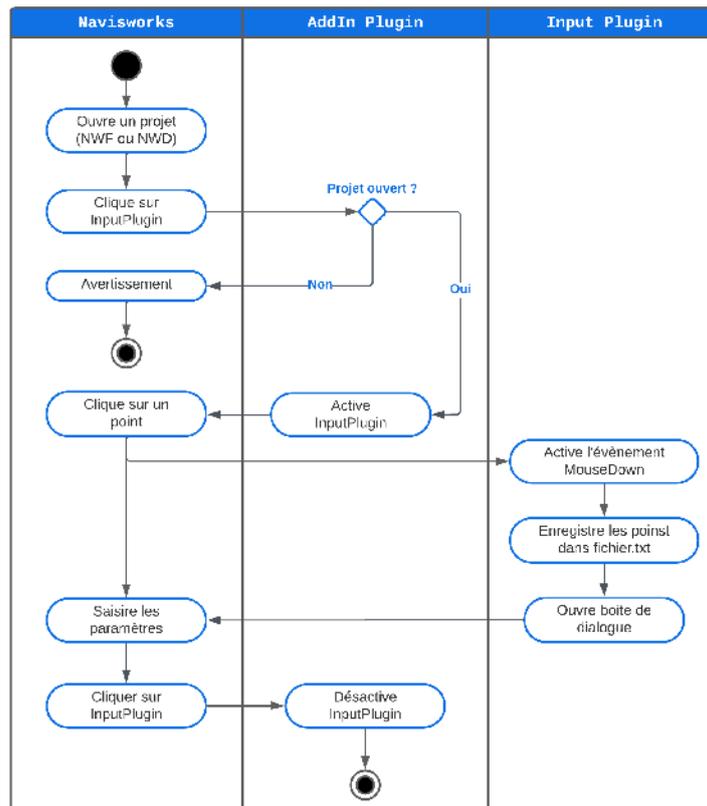


FIGURE 4.8 – Diagramme UML d'activité de la saisie d'une sphère de conflit - Enola Sengeissen

Cette partie n'était pas évidente car il a fallu l'écrire en C++ qui est un langage plus compliqué notamment dans la gestion des types de variables. De plus l'API `nwcreate` utilise des types de C++ transformés ce qui a encore compliqué la tâche.

La Figure 4.9 est le diagramme d'activité de la création et l'affichage des sphères grâce à l'exécution du `AddInPlugin` et du programme externe.

4.3.3 Extensions possibles

À l'issue de mon travail, le plugin fonctionne. Pour autant il n'est pas parfait et des améliorations sont possibles ainsi que des extensions. En termes d'amélioration, je pense que l'optimisation de l'utilisation de la mémoire est nécessaire. En effet, le langage C++ n'a pas de *garbage collector* contrairement au C#. Le *garbage collector* "sert de gestionnaire de mémoire automatique" [8]. Il permet principalement de repérer les variables inutilisées et de libérer l'espace mémoire qui était mobilisé pour leur stockage. Comme je le disais plus tôt, la gestion des types de variable en C++ ayant été laborieuse, j'ai réalisé plusieurs conversions de types qui ont créé un certain nombre de variables qui mobilisent de la mémoire. Cela n'a aujourd'hui pas d'impact sur le temps d'exécution qui est imperceptible mais cela pourrait être handicapant en cas d'extension du programme.

Ensuite, la gestion des erreurs n'est pas complète. J'ai géré quelques cas problématiques, si on clique deux fois sur le même bouton, si un fichier existe déjà dans le projet, etc. mais il s'agit principalement là des erreurs que l'on perçoit immédiatement à l'exécution car cela provoque systématiquement l'arrêt du programme.

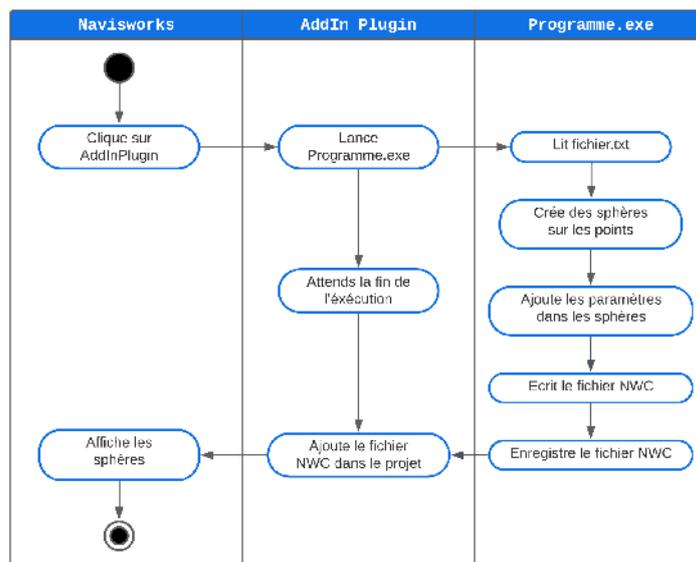


FIGURE 4.9 – Diagramme UML d'activité de la création et l'affichage des sphères de conflit - Enola Sengeissen

Par contre, il existe des erreurs qui peuvent subvenir lors de la création des géométries par exemple, qui pourraient arriver pour des raisons diverses et que je n'ai pas eu le temps de gérer.

J'ai également pensé à des extensions possibles telles que :

- Ajouter des couleurs aux sphères en fonction des disciplines concernées.
- Proposer des menus déroulants pour les paramètres afin d'uniformiser les données récupérées.
- Organiser l'arborescence des sphères selon les disciplines ou la priorité des clashes.

Il serait également possible sans trop de difficulté de créer un fichier Revit à partir des informations récupérées par la saisie. Cela permettrait de tirer tout le parti des sphères dans Revit car aujourd'hui, le fichier NWC ne peut être lié que comme modèle de coordination et on n'a pas accès aux paramètres de chaque sphère indépendamment.

Enfin, il convient de prendre du recul sur ce travail. Comme je le disais en début de partie, l'idée était d'explorer les possibilités de l'API, et les résultats sont probants. Par contre, il n'est pas décidé à ce jour d'arrêter l'utilisation des points de vue pour définir des clash. Effectivement, les rapports de clash s'appuient toujours sur les points de vue, et si il est toujours nécessaire de faire des points de vue, pourquoi rajouterait-on la tâche de saisie des sphères ? Le processus de synthèse BIM est voué à évoluer et il faudra que les BIM Manager décident ensemble de comment ils souhaitent intégrer cette innovation dans leur procédure habituelle. Il serait également envisageable de lier automatiquement la saisie des sphères à la saisie des points de vue.

Conclusion

Ce TFE montre comment les "nouvelles" technologies BIM s'emparent d'un sujet pointu en construction qu'est la synthèse technique. On comprend assez vite les points forts que sont la 3D et la coordination que le BIM apporte à la synthèse. Ce mémoire a également mis en exergue un phénomène de frein que peut être le choix des bons outils parmi toutes les nouvelles possibilités dégagées par le BIM. En synthèse BIM, il y a beaucoup d'informations à traiter et beaucoup de manières différentes de s'y prendre. C'est pourquoi dans une entreprise qui a des méthodes construites de manière empirique depuis quelques années, il a fallu entreprendre un grand chantier de restructuration des objectifs de la synthèse BIM. Le répertoire des conflits est une production qui participe à cette restructuration. Il mérite d'être discuté pour être intégré, sous cette forme ou au autre, à la charte BIM GSE qui est également en refonte.

L'action de restructuration est également proposée de manière pratique dans la création de données au moment de la préparation de synthèse. Le plugin proposé apporte une grande différence dans la manière de préparer et de présenter les synthèses BIM en offrant la possibilité de paramétrer les conflits et de les intégrer comme véritables objets BIM. Un gain indirect avec ces outils est de pouvoir prendre du recul sur les résultats de synthèse. Les données de conflit pourront être facilement manipulées pour communiquer à chaque réunion on l'a vu, mais également pour créer de la donnée de retour d'expérience. Il sera intéressant dans le futur de compiler les conflits et leurs paramètres pour sortir des statistiques vis à vis des disciplines, des projets, ou encore des phases.

Enfin il est important de rappeler que ni le BIM ni la [CAO](#) ne sauraient se substituer à l'expérience et au jugement humain dans le domaine de la synthèse. Faire des synthèses est un métier en soit qui demande une expérience multidisciplinaire fine pour reconnaître des problèmes et même proposer des solutions aussi complexes soient-elles.

Bibliographie

- [1] Ministère de l'économie et des FINANCES. "Arrêté du 22 mars 2019 précisant les modalités techniques d'exécution des éléments de mission de maîtrise d'œuvre confiés par des maîtres d'ouvrage publics à des prestataires de droit privé". In : *Journal officiel de la république française* (31 mars 2019).
- [2] buildingSMART FRANCE – MEDIACONSTRUCT. *Qu'est-ce que le format IFC ?* 2021. URL : <https://buildingsmartfrance-mediaconstruct.fr/comprendre-format-ifc/>.
- [3] Syntec INGÉNIERIE. *BIM/Maquette numérique Contenu et niveaux de développements*. Le Moniteur des travaux Publics et du bâtiment, 2014.
- [4] Karen KENSEK. *Manuel BIM Théorie et Applications*. Eyrolles, 2015.
- [5] Xiaodong LIANG. *Get started with NwCreate - part 1*. URL : <https://adndevblog.typepad.com/aec/2013/07/get-started-with-nwcreate-part-1.html>.
- [6] MICROSOFT. *C# documentation*. 2022. URL : <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/>.
- [7] MICROSOFT. *C++ language documentation*. 2022. URL : <https://learn.microsoft.com/en-us/cpp/cpp/?view=msvc-170>.
- [8] MICROSOFT. *Fundamentals of garbage collection*. URL : <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/standard/garbage-collection/fundamentals>.
- [9] Jonathan RENO et STEVENS CHEMISE. *Revit pour le BIM*. Eyrolles, 2018.

Table des figures

1.1	Organigramme du Lab. De gauche à droite : Pôles Bâtiment durable, Innovation, BIM et DSI	13
1.2	Logiciel Navisworks Manage. De gauche à droite : Arborescence de sélection, fenêtre de visualisation, Propriétés et Arborescence des points de vue	14
2.1	Chronologie standard des projets de GSE - Enola Sengeissen	18
2.2	Cadre de la synthèse selon les trois phases retenues - Enola Sengeissen	19
2.3	Spécification sur le niveau de complétude d'une maquette architecture selon les phases projets. Extrait de la charte BIM GSE.	21
2.4	Configuration d'une détection automatique de clashes avec le Clash Detective	22
2.5	Bâtiment de production ANVIS en travaux (19/07/2022)	23
2.6	Point de vue créé dans Navisworks avec des annotations	24
2.7	Titre du clash dans l'arborescence des points de vue	24
2.8	Cycle hebdomadaire de préparation et réunion de synthèse - Enola Sengeissen	25
2.9	Exemple de la présentation d'un point de vue dans un rapport de clash	26
2.10	Carte mentale des sources de problématiques et des points de levier d'amélioration de la synthèse BIM GSE - Enola Sengeissen	28
3.1	Extrait de la base de données des clashes - base de données complète disponible en annexe C	29
3.2	Options de sélections de la base de données	30
3.3	Présentation d'un clash illustré dans le manuel	30
3.4	Configurations de conflits entre lots techniques rencontrées en projet	31
3.5	Aperçu de quatre résultats du Clash Detective décrivant le même conflit	33
3.6	Graphique des comparaisons de gains en précision et gain en nombre de clashes pour la comparaison maquette architecture versus électricité & CVC - Enola Sengeissen	33
3.7	Graphique des comparaisons de gains en précision et gain en nombre de clashes pour la comparaison maquettes structure métallique vs CVC - Enola Sengeissen	34
3.8	Schéma du rapport entre la tolérance et la méthode de calcul dans le cas de deux éléments cylindriques - Enola Sengeissen	35
3.9	Aperçu de la maquette de la structure béton du projet ANVIS	36
3.10	Exemple où les poteaux de la maquette de structure bois (en jaune) impactent les unités de passage dans la circulation	36
3.11	Configuration problématique : la hauteur de plafond et l'épaisseur de poutre (en rouge) ne permettent pas de passer les réseaux de CVC	37
3.12	Solution : réduction du diamètre et détournement des canalisations ainsi que baisse localisée de la hauteur sous plafond	37
3.13	RIA à déplacer	38
4.1	Problématiques et solutions à apporter dans les outils à développer	39
4.2	Exemple de la définition d'une classe en représentation UML - Enola Sengeissen	41

4.3	Correspondance entre les éléments de l'interface Navisworks et l'API .NET - Damien Berthoux	42
4.4	Diagramme UML de cas d'utilisations du plugin - Enola Sengeissen	43
4.5	Boite de dialogue pour saisir les informations d'un clash au clic	44
4.6	Diagramme UML de cas d'utilisations de l'exécutable - Enola Sengeissen	44
4.7	Affichage des sphères avec l'arborescence et les paramètres	45
4.8	Diagramme UML d'activité de la saisie d'une sphère de conflit - Enola Sengeissen	46
4.9	Diagramme UML d'activité de la création et l'affichage des sphères de conflit - Enola Sengeissen	47
A.1	Organigramme de GSE, en particulier, place de la direction technique	57
B.1	Organigramme de la direction technique, en particulier, place du LAB	59
C.1	Base de données des conflits en version intégrale (1/4)	62
C.2	Base de données des conflits en version intégrale (2/4)	63
C.3	Base de données des conflits en version intégrale (3/4)	64
C.4	Base de données des conflits en version intégrale (4/4)	65
D.1	Diagramme de classe UML d'une portion de l'API Navisworks .NET - Classes et leurs membres non exhaustifs - Enola Sengeissen	67

Liste des tableaux

1.1	Schématisation de l'offre BIM chez GSE	12
2.1	Producteurs BIM du projet ANVIS	23
3.1	Objectifs BIM auxquels doivent répondre les synthèses de chaque phase	31
3.2	Détection des intersections selon la tolérance et le mode	35

Annexes

A	Organigramme GSE	57
B	Organigramme Dir.Technique	59
C	Base de données des clashes	61
D	Diagramme de classe	67

ORGANIGRAMME GSE

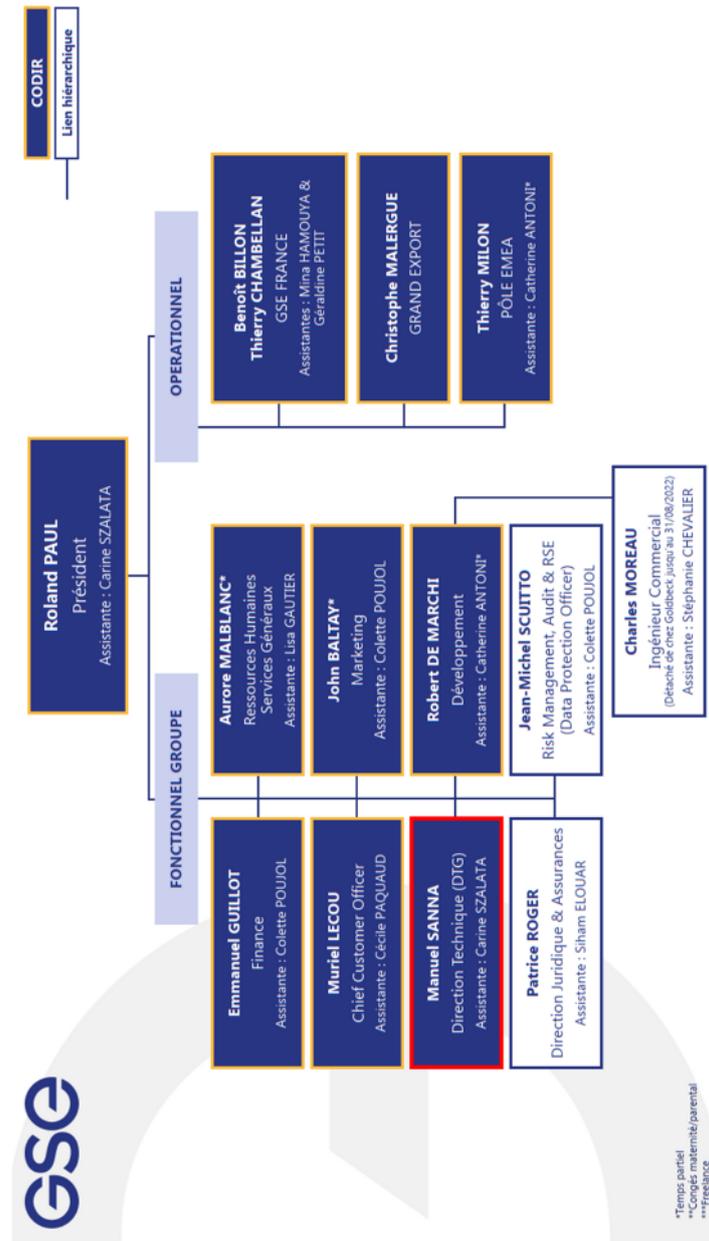


FIGURE A.1 – Organigramme de GSE, en particulier, place de la direction technique

ORGANIGRAMME DIR. TECHNIQUE ANNEXE **B**

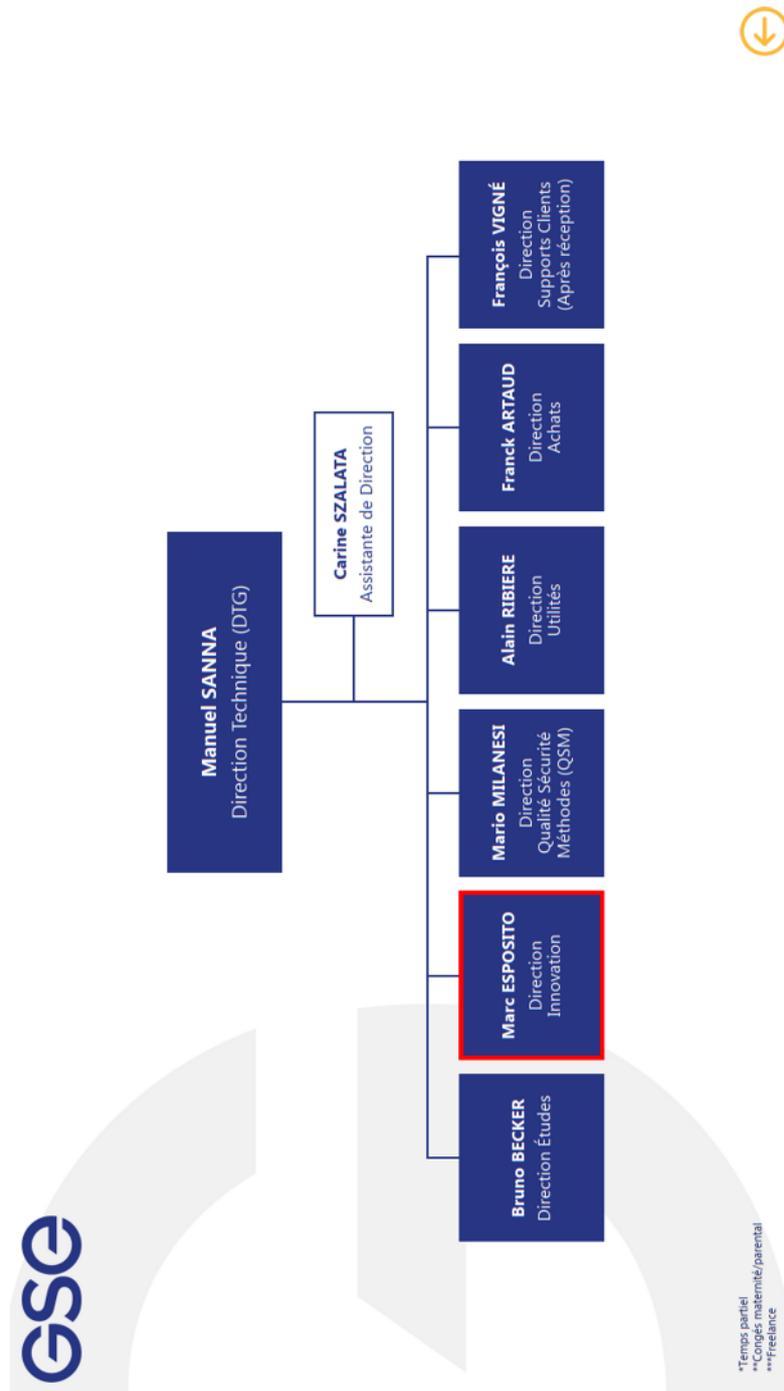


FIGURE B.1 – Organigramme de la direction technique, en particulier, place du LAB

BASE DE DONNÉES DES CLASHS

ANNEXE
C

Phase: Phase
 Discipline A: MIA
 Discipline B: MIB
 Importance: Importance

Nombre de résultats: 107/107

GSE GLOBAL SOLUTIONS & ENGINEERING

Phase	Discipline A	Discipline B	Élément 1	Élément 2	Description	Tolérance	Priorité
Etudes	STR Principale	Gabarit	Poteaux	Quadrillages	Mettre à jour le quadrillage vis-à-vis de la STR (poteaux principaux) quand elle évolue. Communiquer la maj aux autres entreprises et la vérifier.	Revit Visuel	1
Etudes	AIC	STR	Objets	Murs	Les murs béton ou murs CF ne doivent pas être interceptés	Dur conservateur 10cm	1
Etudes	AIC	STR	Murs	Poteaux	Vérifier l'alignement de la façade par rapport aux poteaux de façade	Visuel	2
Etudes	AIC	STR	Murs	Longrines	Vérifier l'alignement de la façade par rapport à la longrine	Visuel	2
Etudes	STR Principale	STR 2nde	Longrines	Poteaux	Vérifier la disposition des poteaux par rapport à la longrine (si encasturé réa à prévoir)	Visuel	2
Etudes	STR Principale	STR 2nde	Longrines	MOB	Vérifier la disposition du mur par rapport à la longrine	Visuel	2
Etudes	AIC	STR	Escalier/Ascenseur	Murs	Vérifier les UP entre les murs structurels	Dur 1cm (attention se répécute de part et d'autres des escaliers)	1
Etudes	AIC	STR	Murs	Poteaux	Vérifier que les UP sont respectés en prenant en compte les poteaux	Visuel 1cm	1
Etudes	AIC	STR	Murs	Poteaux	Vérifier l'alignement des murs intérieurs par rapport aux poteaux	Visuel	3
Etudes	AIC	Tous	Portes		Vérifier que l'ouverture des portes est possible	Visuel	2
Etudes	SITE	Réalisé	Voierie	Trajectoire	Vérifier que les girations sont possibles pour l'utilisation réelle du site	Vehicle Tracking Autocad si demandé	3
Etudes	CVC PLB SPK ELEC	ARC	Systèmes	Faux Plafond	Vérifier que l'ensemble des réseaux passe entre poutres et faux plafond (ou hauteur libre)	Dur conservateur 1cm	2
Etudes	Siphonides	STR	Systèmes	Poutres	Vérifier que l'ensemble des réseaux passe entre poutres et faux plafond (ou hauteur libre)	Dur conservateur 1cm	2
Etudes	AIC	STR	Poutres/Lisses/Éléments horizontaux	Faux plafond	S'assurer que les éléments de charpente sont au dessus du niveau de faux plafond	Dur 1cm	2
Etudes	Ponts roulants				Vérifier point bas > hauteur libre	Dur conservateur 1cm	1
Etudes	AIC	STR	Toit	Poutres/Pannes	Vérifier que les pentes coïncident et vérifier pente minimale	Coter sur Revit 0%	2
Etudes	AIC	STR	Toit	Poutres/Pannes	Vérifier que le bac et la charpente coïncident en altitude	Visuel 5cm	3
Etudes	Murs mobiles	ARC	Reils	Faux plafond	S'assurer que les rails prévus pour les cloisons mobiles soient au dessus du faux plafond.	Visuel	2
Etudes	Murs mobiles	CVC PLB SPK ELEC	Suspentes	Systèmes	Eviter les collisions avec les suspentes dans le plénum	Dur conservateur 2cm	3
Etudes	CVC PLB SPK ELEC	STR	Canalisations	Dalles/Murs	Vérifier que les réseaux passent dans les réservations ou signaler le besoin de réservation	Dur conservateur 1cm	1
Etudes	CVC PLB SPK ELEC	Siphonides	Gaines	Canalisations	Vérifier que les canalisations ne sont pas "cachées" dans gaine	Dur conservateur 5cm	2
Etudes	CVC PLB SPK ELEC		Geométrie des équipements		Tout conflit géométrique entre disciplines. Hors isolation gaines, supportage...	a étudier	2
Etudes	AIC	STR	DEP	Poteau	Vérifier que les DEP ne sont pas en collision ni inclus dans les poteaux	Dur conservateur 15cm (diamètre DEP)	3
Etudes	VRD	STR	EP/EU	Futs et Semelles	Vérifier que les réseaux EP/EU ne passent pas dans les semelles de fondations ni trop proche (géotechnique)	Jeu 20cm	1
Etudes	VRD	STR	EP/EU	Longrines	Vérifier qu'il n'y a pas de sortie trop proche des longrines	Jeu 20cm	3
Etudes	VRD	ARC	DEP	Réseaux EP/EU	Assurer la cohérence des arrivées DEP par rapport aux réseaux EP/EU (vérification en termes d'axes)	Visuel 8 cm	3
Etudes	VRD	SITE			Cohérence globale sans précision accrue	Visuel	3

FIGURE C.1 – Base de données des conflits en version intégrale (1/4)

Etudes	STR	ARC	Poteaux/Escaliers	Fenêtres/Portes	Vérifier que les fenêtres et les portes sont dégaîgées	Visuel	1
Etudes	STR	ARC	Poteaux/Murs	Doublage	Vérifier qu'il y a bien des poteaux sous les doublages	Visuel	3
Etudes	STR (Fond)	ARC/STR (chevêtres)	Longrines	Chevêtres de portes	Vérifier que les chevêtres et les ouvertures dans les longrines coïncident	Visuel	2
Etudes	Design	ARC	Mobilier	Cloisons vitrés/Fenêtres	Vérifier que le mobilier n'est pas mal placé	Visuel	1
Etudes	Design	ARC /STR	Mobilier	Murs/Poteaux/Plafonds	Vérifier que le mobilier n'est pas mal placé	Visuel	3
Etudes	CVC PLB SPX ELEC	ARC	Terminaux	Murs/Plafond	Signaler les équipements mal placés	Visuel	3
Etudes	STR/ARC/CVC PLB SPX ELEC	ARC	Poteaux/Mur/ Systèmes	Toit	Signaler les éléments qui dépassent du toit	Visuel	3
Etudes	Tous		Objets manquants		Vérifier la continuité des plafonds, sols...	Visuel	2
Etudes	Tous		Éléments dupliqués		Signaler les doublons	Dur conservateur 2 cm, ou Visuel, ou Doublons	3
Etudes	Tous		Erreurs de modélisation		Signaler les éléments mal modélisés ou superflus	Visuel	3
Etudes	STR	STR (fond)	Poteaux	Futs et Semelles	Vérifier que les poteaux coïncident avec fondations (jet et plan) attentions si MN différentes	Visuel	1
Etudes	STR	ARC	Chevêtres	Lanterneaux/Fenêtres	Vérifier qu'il y a autant de chevêtres que de fenêtres et qu'ils sont axés	Visuel	1
Etudes	STR	ARC	Réservations	Murs	Penser à prévoir des ouvertures/éss dans les murs archi en face des résa dans les murs béton ou bois.	Visuel Ou Dur 30cm (si ouverture représentées)	2
Etudes	CVC PLB SPX ELEC		Axes		Vérifier que le tracé est complet et cohérent	Visuel	2
Livraison	ARC	Tous	Objets dupliqués		Supprimer de la MN ARC toutes les autres disciplines	Visuel ou Dur 0cm	1
Livraison	ARC		Finitions		Repérer les différences par rapport aux choix finaux	Visuel	2
Livraison	Tous		Erreurs de modélisation		Signaler les erreurs de modélisation	Visuel	2
Livraison	ARC	STR	Doublage	Poteaux/Lisses/Poutres	Vérifier que la charpente (2de) est bien masquée derrière le doublage quand un doublage est prévu	Visuel	1
Livraison	CVC PLB SPX ELEC	ARC	Canalisations		Vérifier que la MEP des locaux tertiaires n'est pas apparente (sauf terminaux)	Visuel	2
Livraison	STR		Élément manquant		Vérifier qu'il ne manque pas de dalle, voile, vigilance surtout si entreprises différentes réalisent la structure	Visuel	1
Livraison	STR		Éléments superflus		Vérifier que des éléments de construction ne sont plus présents dans la maquette	Visuel	1
Livraison	ARC	Réalité	Emplacement des locaux tertiaires		Si des locaux tertiaires existent dans les locaux de production, leur emplacement peut avoir changé au cours de la construction.	Visuel	2
Livraison	CVC PLB SPX ELEC Siphoides		Nombre d'éléments		Vérifier qu'il y a le même nombre d'équipement dans chaque pièce et pour chaque discipline sur les vues holoballier et dans la MN	Visuel	1
Réalisation	CVC PLB SPX ELEC	ARC	Systèmes	Faux Plafond	Vérifier que l'ensemble des réseau passe entre poutres et faux plafond (ou hauteur libre)	Dur conservateur 0cm	1
Réalisation	CVC PLB SPX ELEC	STR	Systèmes	Poutres	Vérifier que l'ensemble des réseau passe entre poutres et faux plafond (ou hauteur libre)	Dur conservateur 0cm	1
Réalisation	Ponts roulants				Vérifier point bas > hauteur libre	Dur conservateur 0cm	1
Réalisation	Process				Représenter les volumes process importants si pas de MN process et vérifier que le process respecte la hauteur libre	Dur conservateur 0cm	1
Réalisation	ARC	STR	Poutres/Lisses/Éléments horizontaux	Faux plafond	S'assurer que les éléments de charpentes sont au dessus du niveau de faux plafond	Dur 1cm	1
Réalisation	ARC	STR	Escalier/Ascenseur	Murs	Vérifier que les escaliers passent entre les murs structurels	Dur 0cm	1
Réalisation	ARC	STR	Murs	Poteaux	Vérifier que les UP sont respectées en prenant en compte les poteaux	Visuel 0cm	1
Réalisation	ARC	STR	Murs	Poteaux	Vérifier l'alignement des murs intérieurs par rapport aux poteaux	Visuel	3

FIGURE C.2 – Base de données des conflits en version intégrale (2/4)

Réalisation	ARC	Tous	Portes	Vérifier que l'ouverture des portes est possible	Visuel	3
Réalisation	CVC PLB SPK ELEC Siphoides	STR (chevêtres)	Systèmes	Identifier les chevêtres réservés au process et s'assurer qu'aucun équipement n'obstrue les futures extractions	Dur conservateur 0cm de racks	1
Réalisation	Racks	CVC PLB SPK ELEC	Racks	Modéliser une hauteur de racks défavorable et vérifier que les réseaux passent au-dessus. Les racks peuvent être trop proches des murs, façades. Anticiper car certains équipements peuvent être placés sur les murs.	Dur 10cm (si taille de racks)	1
Réalisation	Racks	ARC	Racks	Les racks peuvent mordre sur les poteaux. Anticiper car certains équipements peuvent être placés sur les poteaux.	Jeu 50cm	3
Réalisation	Racks	STR	Racks	Représenter les volumes process importants si pas de MN process et s'assurer qu'aucun réseau ne les interceptent	Jeu 50cm	3
Réalisation	Process	CVC PLB SPK ELEC	Process	Vérifier que les girations sont possibles pour l'utilisation réelle du site	Dur conservateur 0cm	1
Réalisation	SITE	Réalité	Voierie	Vérifier que les réseaux évitent complètement ou ne mordent pas les écrans de cantonnement	Vehicule Tracting Autocad si demandé	3
Réalisation	VRD	STR	EP/EU	Vérifier que les réseaux respectent le câblage de la dalle	Visuel	1
Réalisation	CVC PLB SPK ELEC Siphoides	ARC/STR	Poutres/Voiles	Assurer le passage des canalisations dans résa prévues, ou prévoir des résa	Dur conservateur 1cm	1
Réalisation	Siphoides	ARC/STR	Poutres/Voiles	Signaler les passages de canalisations sous restrictions, trémines, lanterneau...	Dur conservateur 1cm si réservations modifiées	1
Réalisation	CVC PLB SPK ELEC Siphoides	ARC/STR	Canalisations	Signaler les carotages trop proches de résa existantes (gaine, fenêtre...)	Jeu 10cm	3
Réalisation	Siphoides	ARC	Systèmes	Vérifier que les réseaux dans les murs (facade not.) n'interceptent pas d'éléments de structure	Visuel	1
Réalisation	CVC PLB SPK ELEC	ARC	Systèmes	Vérifier que l'alimentation des locaux de prod est présente et ne clash pas avec les cloisons	Dur conservateur 1cm	3
Réalisation	CVC PLB SPK ELEC	ARC	Systèmes	Vérifier que l'alimentation des locaux de prod est d'alimétrie compatible avec les niveaux de bureaux de prod. Penser à vérifier les suspentes si il y en a	Dur conservateur 1cm	3
Réalisation	CVC PLB SPK ELEC Siphoides	STR	Murs/Cloisons/Toit	Vérifier que les réseaux ne mordent pas dans les cloisons	Dur conservateur 1cm	1
Réalisation	ARC	STR	Murs/Cloisons/Toit	Vérifier que les réseaux ne mordent pas dans les poteaux ni dans leurs corbeaux	Visuel (ou Dur) environ 5cm	2
Réalisation	ARC	STR	Murs/Cloisons/Toit	Les murs béton ou murs CF ne doivent pas être interceptés	Dur conservateur 1cm	2
Réalisation	ARC	STR	Poteaux	Prevoir le passage des DEP le long des poteaux	Dur conservateur 10cm	2
Réalisation	CVC PLB SPK ELEC	ARC	Axes	Vérifier que le tracé est complet et cohérent	Visuel	3
Réalisation	Siphoides	ARC	Gaines	Vérifier que les canalisations ne sont pas "cachées" dans gaine	Visuel	2
Réalisation	CVC PLB SPK ELEC Siphoides	ARC	Objets	Tout conflit géométrique entre disciplines. Prendre en compte isolation gaines, supportage...	Dur conservateur 1cm	1
Réalisation	RIA	ARC/STR	RIA	Vérifier que les RIA peuvent tourner	A étudier	1
Réalisation	SPK	STR/CVC PLB ELEC Siphoides	Murs/Poteaux	Anticiper le besoin de blindage pour varier les équipements pour éviter la protection incendie sous équipement	Visuel	1
Réalisation	Siphoides	ARC	Portes Sectionnelles	Représenter un volume réel de maintenance des portes sectionnelles et s'assurer qu'aucun réseau ne les interceptent	Visuel	2
Réalisation	CVC PLB SPK ELEC	ARC	Réseaux	Vérifier que la MEP des locaux tertiaires n'est pas apparente (sauf terminaux)	Dur conservateur 1cm	1
Réalisation	CVC PLB SPK ELEC Siphoides	ARC	Canalisations	Soulever la question d'une distance nécessaire pour le montage, maintenance...	Visuel	3
Réalisation	Siphoides	ARC	Distance aux autres lot	S'assurer que les équipements peuvent assurer leur fonction	Jeu 20cm	2
Réalisation	Siphoides	ARC	Distance aux autres lot	S'assurer que la distance réglementaire entre CFO et CFA est maintenue notamment lors de la résolution d'autres cisais	Visuel	2
Réalisation	ELEC	ELEC	CFO	Signaler la proximité des équipements bryants aux bureaux	Jeu 30cm (selon dispositions)	2
Réalisation	CVC	STR	Equipements bryants	Penser à prévoir des ouvertures/résa dans les murs archi en face des résa dans les murs béton ou bois.	Visuel	3
Réalisation	ARC	STR	Murs		Ou Dur 30cm (si ouverture représentées)	2

FIGURE C.3 – Base de données des conflits en version intégrale (3/4)

Réalisation	ARC	STR	Fenêtres/Portes	Poteaux/Escaliers	Vérifier que les fenêtres et les portes sont dégaîgées	Visuel	3
Réalisation	ARC	STR	Toit	Poutres/Pannes	Vérifier que le bac et la charpente coïncident en altitude	Visuel 1cm	3
Réalisation	ARC	STR	Toit	Poutres/Pannes	Vérifier que les pentes coïncident et vérifier pente minimale	Coter sur Revit 0%	3
Réalisation	Murs mobiles	ARC	Rails	Faux plafond	S'assurer que les rails prévus pour les cloisons mobiles soient au dessus du faux plafond.	Visuel 0cm	2
Réalisation	Murs mobiles	CVC PLB SPK ELEC	Suspentes	Systèmes	Eviter les collisions avec les suspentes dans le plénum	Dur conservateur 2cm	3
Réalisation	CVC PLB SPK ELEC	STR	Canalisations	Dalles/Murs	Vérifier que les réseaux passent dans les réservations ou signaler le besoin de réservation	Dur conservateur 1cm	1
Réalisation	ARC	STR	DEP	Poteau	Vérifier que les DEP ne sont pas en collision ni inclus dans les poteaux	Dur conservateur 1cm	2
Réalisation	ARC	STR	Doubleage	Poteaux/Lisses/Poutres	Vérifier que la charpente (2d6) est bien masquée derrière le doubleage quand un doubleage est prévu	Visuel	2
Réalisation	Tous		Erreurs de modélisation		Signaler les éléments mal modélisés ou superflus	Visuel	3
Réalisation	ARC	STR	Doubleage	Poteaux/Murs	Vérifier qu'il y a bien des poteaux sous les doubleages	Visuel	3
Réalisation	STR/ARC/CVC PLB SPK ELEC Siphonides	ARC	Poteaux/Murs/Systèmes	Toit	Signaler les éléments qui dépassent du toit	Visuel	3
Réalisation	Tous		Objets manquants		Vérifier la continuité des plafonds, sols...	Visuel	1
Réalisation	Tous		Éléments dupliqués		Signaler les doublons	Dur conservateur 2 cm, ou Visuel ou Doublons	3
Réalisation	STR	STR	Élément manquant		Vérifier qu'il ne manque pas de dalle, voile, vigilance surtout si entreprises différentes réalisent la structure	Visuel	1
Réalisation	STR	STR	Dalles	Murs	Synthèse spécifique à faire entre deux lots de béton pour venir fixer une dalle sur les voiles de l'autre lot.	démander	3
Réalisation	STR	ARC	Chevêtres	Lanterneaux/Fenêtres	Vérifier qu'il y a autant de chevêtres que de fenêtres et qu'ils sont axés	Visuel	1
Réalisation	STR (Fond)	ARC/STR (chevêtres)	Longrines	Chevêtres de portes	Vérifier que les chevêtres et les ouvertures dans les longrines coïncident	Visuel	2
Réalisation	VRD	ARC	DEP	Réseaux EP/EU	Assurer la cohérence des arrivées DEP par rapport aux réseaux EP/EU (vérification en termes d'axes)	Visuel 1 cm	3

FIGURE C.4 – Base de données des conflits en version intégrale (4/4)

DIAGRAMME DE CLASSE

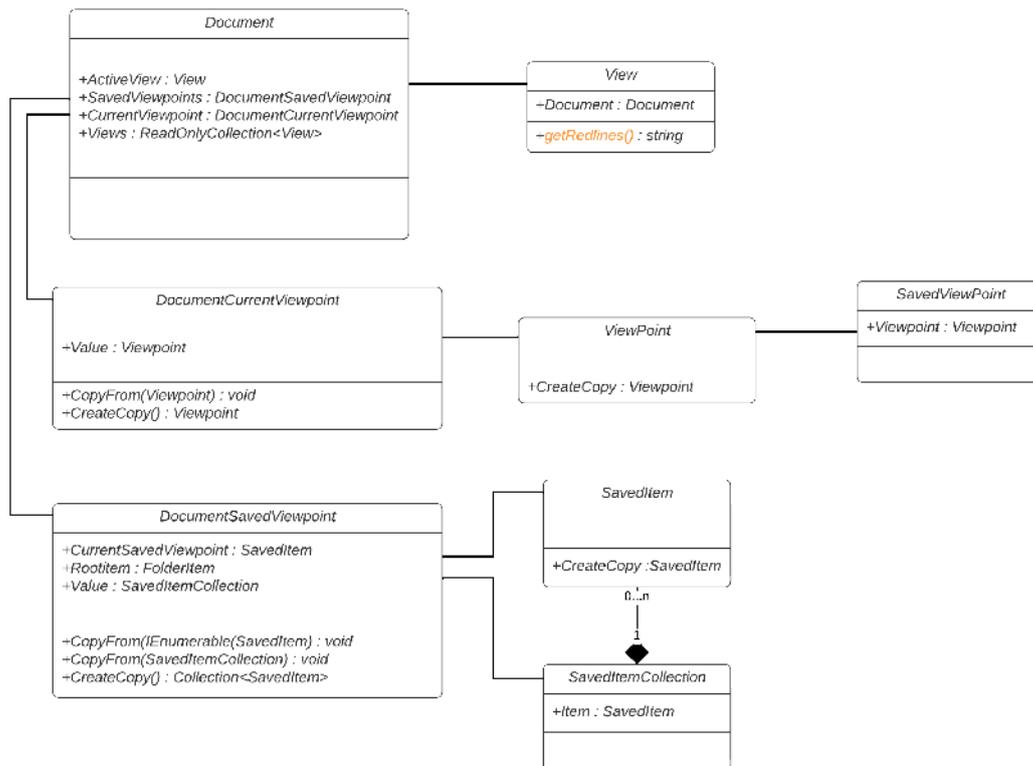


FIGURE D.1 – Diagramme de classe UML d’une portion de l’API Navisworks .NET - Classes et leurs membres non exhaustifs - Enola Sengeissen