République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université des Sciences et de la Technologie d'Oran
Mohamed Boudiaf

Faculté d'Architecture et de Génie-Civil
Département d'Architecture.

Polycopié

INITIATION AU BIM

Préparé et présenté par :

Mohamed TEHAMI

Année universitaire 2024 - 2025

AVANT-PROPOS

De nos jours, les technologies de l'information et de la communication (TIC) deviennent incontournables en raison de la complexité et de l'ampleur des grands projets de construction. De plus, le secteur de la construction a connu une évolution quantitative dans le volume de données échangées entre ses différents acteurs.

Le Building Information Modelling (BIM) a été développé comme une solution pour faciliter et renforcer la collaboration entre les divers intervenants d'un projet de construction. Ainsi, une course à l'adoption du BIM a été observée à travers le monde entier.

En Algérie, l'intérêt pour le BIM n'a émergé que récemment. Le premier événement marquant pour promouvoir le BIM, la 1ère édition de CityCAD, a été organisé en 2015 afin de discuter de la nécessité de l'implémentation du BIM en Algérie. Depuis, plusieurs institutions ont été créées pour promouvoir le BIM à travers des programmes de formation destinés aux individus et aux entreprises.

En 2018, le BIM a été intégré dans le programme de formation en architecture sous la forme d'un module intitulé **« Modélisation et Simulation BIM »**, destiné aux étudiants de troisième année du cycle Licence. Cette initiative a marqué une étape clé dans l'implémentation du BIM en Algérie.

En 2022, le master professionnel sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment (Master pro EEb) a, à son tour, intégré le BIM comme un module méthodologique intitulé **« Initiation au BIM »**. Aujourd'hui, la numérisation de l'industrie de la construction est devenue une évidence dans les pays émergents. Il est clair que le BIM est désormais indispensable dans toutes les formations, qu'elles soient académiques ou professionnelles, afin de préparer les futures générations aux nouveaux défis d'un secteur en constante évolution.

Ce polycopié s'adresse aux étudiants de première année Master pro EEb et troisième année architecture, mais également à toute personne souhaitant s'initier au BIM. Son objectif est de sensibiliser et de former les apprenants aux processus BIM dans un projet de construction, en abordant les notions fondamentales et les connaissances de base liées au BIM.

Le polycopié est structuré en dix chapitres, offrant une vue d'ensemble complète sur le BIM. Le premier chapitre présente une introduction générale aux principes, avantages, et défis du

BIM. Le second aborde le Open BIM, modèle d'interopérabilité favorisant la collaboration entre les parties prenantes d'un projet de construction. Le troisième chapitre détaille les notions importantes, notamment les niveaux de maturité, les dimensions du BIM et les livrables, fournissant une base méthodologique solide. Le quatrième explore la stratégie BIM, incluant la gestion des documents comme la Charte et la Convention BIM (BEP), ainsi que les rôles des membres de l'équipe. Le cinquième met en avant le travail collaboratif, soutenu par des plateformes numériques et la gestion des flux de travail. Le sixième chapitre traite de l'acquisition de données, telles que la géolocalisation, la numérisation 3D, et le processus Scan-to-BIM. Les septième et huitième chapitres se concentrent sur les systèmes de classification et la coordination BIM, avec un focus sur la détection des conflits pour améliorer la gestion des projets. Le neuvième chapitre explore la planification 4D, permettant une gestion optimisée des échéanciers et des ressources. Enfin, le dernier chapitre examine le rôle du BIM dans le développement durable, en mettant en lumière son apport dans la conception écologique et la modélisation énergétique (BEM). Chaque chapitre est enrichi de figures et tableaux pour faciliter la compréhension des concepts, rendant ce polycopié un outil pédagogique essentiel pour appréhender et appliquer le BIM dans les projets de construction.

SOMMAIRE

Chapitre 1 : Introduction au BIM (Building Information Modelling)

1.1. Introduction……11
1.2. Méthodes traditionnelles de conception et de construction ……11
1.3. Problèmes associés aux méthodes traditionnelles……15
1.4. Le BIM……18
1.5. Historique du BIM……21
1.6. Les avantages du BIM ……28
1.7. Dessin, modélisation 3D et maquette numérique……31
1.8. Les problèmes rencontrés lors de l'utilisation du BIM ……33
1.9. Adoption du BIM dans le monde……34

Chapitre 2 : Open BIM

2.1. Introduction……39
2.2. Closed BIM ……39
2.3. Open BIM……40
2.4. Les avantages et les inconvénients de l'openBIM® et du closed BIM……42
2.5. Les IFC et BCF……43
2.6. Consultations et exports d'IFC……45

Chapitre 03 : Notions importantes BIM

3.1. Introduction……52
3.2. Les niveaux de maturité BIM……52
3.3. Les niveaux de maturité dans l'ISO 19650……57
3.4. Les dimensions du BIM……58
3.5. Niveau de développement LOD (level of development)……67
3.6. Livrables BIM……76

Chapitre 4 : Stratégie BIM

4.1. Les Différents documents BIM……82
4.1.1. La Charte BIM……82

4.1.2. Le Cahier des Charges BIM / l'EIR.....85
4.1.3. La Convention BIM / Plan d'Execution BIM (BEP).....87
4.1.4. Le MIDP et le TIDP.....89
4.2. Les membres de l'équipe BIM.....94
4.3. Objectifs et usages BIM.....100

Chapitre 5 : Le travail collaboratif autour du BIM

5.1. Introduction.....109
5.2. Maquette BIM et projet collaboratif.....110
5.3. Les plateformes collaboratives BIM (CDE).....111
5.4. Travail collaboratif en OPEN BIM.....116
5.5. La gestion de workflows.....118

Chapitre 6 : Acquisition de données

6.1. Introduction.....123
6.2. Géolocalisation et Géoréférencement.....123
6.3. Numérisation 3D.....131
6.4. Le Scan to BIM : du nuage de points à la Maquette BIM.....134

Chapitre 7 : Systèmes de Classification BIM

7.1. Définition.....140
7.2. Avantages à utiliser un système de classification.....141
7.3. Principes des systèmes de classification.....143
7.4. Les systèmes de Classifications les plus utilisés.....147
7.5. Méthode d'implémentation et gestion d'un système de classification sur un projet.....152

Chapitre 8 : Coordination BIM

8.1. Définitions et principes.....157
8.2. Détection de collisions.....157
8.3. Type de conflits.....158

8.4. Matrice de gestion des conflits……162

8.5. Processus de détection de collisions……163

Chapitre 9 : Planification et 4D

9.1. Définitions et principes……172

9.2. La planification avant le BIM ……173

9.3. Fonctionnement d'un logiciel de planning 4D……176

9.4. Simulation de planification ……177

Chapitre 10 : BIM et le développement durable

10.1. Introduction ……180

10.2. La conception et la sensibilisation à la durabilité……180

10.3. La conception durable……182

10.4. Comment le BIM contribue pour une conception durable ……183

10.5. Du BIM au BEM (Building Energy Model), la modélisation énergétique du système bâtiment……187

CONCLUSION GENERALE ……196

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES……197

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 2.1 : Les avantages et les inconvénients de l'openBIM® et du closed BIM……42
Tableau 2.2 Une liste des différents MVD qui se réfèrent à différents domaines de construction et à différentes versions de l'IFC……46
Tableau 3.1 : Le niveau de maturité BIM entre PAS 1192 et ISO 19650……56
Tableau 3.2 : tableau de définition des niveaux d'information NdI……68
Tableau 3.3 : Documentation d'un dossier d'exécution des ouvrages (exemples)……69
Tableau 3.4 : Définition du niveau de développement LOD – Exemple américain (AIA)……73
Tableau 3.5 : synthèse des différents niveaux de développement d'une maquette numérique……74
Tableau 3.6 : Définition des livrables par phase du projet et par échelle – Singapore BIM guide……77
Tableau 4.1 : Hiérarchisation des objectifs BIM (exemple)……102
Tableau 4.2 : Objectifs et cas d'Usage BIM (exemple)……103
Tableau 4.3 : Chronologie des usages BIM……104
Tableau 4.4 : liste des objectifs métiers et des usages BIM……106
Tableau 7.1 : structure type d'un système de classification……140
Tableau 7.2 : Avantage des systèmes de classification……141
Tableau 7.3 : Quelques-unes des catégories du système de classification UniFormat……148
Tableau 7.4 : système de classification MasterFormat……150
Tableau 7.5 : Matrice pour le choix du système de classification……152
Tableau 8.1: Classification des conflits géométriques……159
Tableau 8.2: Classification des conflits non géométriques……160
Tableau 8.3 : Matrice de gestion des conflits……161
Tableau 10.1: Sustainability assessment bodies in different countries……181
Tableau 10.2: outils logiciels BEM couramment utilisés et leur objectif……192

LISTE DES FIGURES :

Figure 1.1: Diagramme conceptuel d'une équipe AEC (Sacks et al., 2018)……12
Figure 1.2 : Diagramme schématique des deux méthodes : conception – appel d'offres – construction / projet design-construction……13
Figure 1.3 : Open BIM et l'interopérabilité entre les different logiciels……18
Figure 1.4 : Illustration entre la méthode de gestion des données actuelle et la méthode BIM……20
Figure 1.5 : Poster de la session de présentation du projet du DR D.C ENGELBART……21
Figure 1.6 : Prof. Charles M. Eastman……22
Figure 1.7 : Sketchpad program" d'Ivan Sutherland en 1963……23
Figure 1.8 : Photographie d'un PDP-10……24
Figure 1.9 : Image extraite de l'ouvrage de Charles Eastman "Glide"……24
Figure 1.10 : Exemple de la comparaison de différents scénarios, l'un des fondements du BIM, via le "Decision Desktop"……25
Figure 1.11 : ArchiCAD 2.0 sur un Macintosh SE/30……26
Figure 1.12 : Extrait de la maquette numérique de la Freedom Tower – Revit 2005……27
Figure 1.13 : fichier Auto Cad qui contient des dessins conventionnels 2D d'un bâtiment……30
Figure 1.14 : Un fichier IFC d'un batiment visualisé dans le viewer Solibri……31
Figure 1.15 : Les logiciels capables de communiquer en IFC……32
Figure 1.16 : Adoption du BIM dans le monde……33
Figure 2.1 : Open and closed BIM……38
Figure 2.2 : les différents logiciels de l'éditeur AUTODESK……39
Figure 2.3: Open/Closed BIM et Big/Little BIM……40
Figure 2.4 : Logo format IFC……42
Figure 2.5 : Logo format BCF……42
Figure 2.6 : comment fonctionne la communication avec les BCF……43
Figure 2.7 : consultation d'un IFC avec BIMvision……44
Figure 2.8 : Diagramme de composition du schéma de données de l'IFC……45
Figure 2.9 : IFC-Coordination-View-IFC-Schema-MVD……46
Figure 2.10 : IFC-Coordination-View-IFC2x3-inphografie……47
Figure 2.11 : IFC-Coordination-View-version-MVD……48
Figure 2.12 : IFC-Coordinatio-View-identification-classes……48
Figure 3.1 : Le modèle de maturité BIM par Mark Bew et Mervyn Richards……55
Figure 3.2 : Niveaux de maturité du BIM selon ISO 19650 – Schéma matriciel……57
Figure 3.3 : Dimensions du BIM……59
Figure 3.4 : Modélisation BIM 4D avec un diagramme de Gantt issue du logiciel Edificius……60
Figure 3.5 : Modélisation BIM 5D……61
Figure 3.6 : Modèle énergétique d'un bâtiment BIM 6D issu du logiciel TerMus-PLUS……63
Figure 3.7 : BEM est un outil polyvalent pour l'efficacité énergétique des bâtiments……64
Figure 3.8 : BIM-7D-gestion-entretien-actifs-installations-usBIM……64
Figure 3.9 : Capture d'écran issue de l'application usBIM.facility BIM 7D……65

Figure 3.10 : Niveaux de représentation NdR……68
Figure 3.11: Level Of Information Need……71
Figure 3.12: Livrable 3D – Maquette numérique……75
Figure 3.13: Livrable 2D – Elevation extraite de la MN……76
Figure 4.1 : Les documents du BIM……81
Figure 4.2 : Hiérarchie des « exigences d'information » selon ISO 19650……87
Figure 4.3 : Capture d'écran de la plateforme Plannerly ……91
Figure 4.4 : Elaboration du MIDP……92
Figure 4.5 : Equipe BIM une fois la convention élaborée (exemple)……94
Figure 4.6 : Objectifs et usages BIM……99
Figure 5.1 : le partage d'information dans un projet de construction avec et sans le BIM……109
Figure 5.2 : les services offerts par une plateforme collaborative……110
Figure 5.3 : CDE selon la norme ISO 19650……111
Figure 5.4 : Exemple des prescriptions CDE dans une convention BIM……114
Figure 5.5 : Autodesk construction cloud ACC- la plateforme collaborative BIM……115
Figure 5.6: les éléments du Standard Open BIM……115
Figure 5.7 : Différence dans l'échange de données entre la CAO et le BIM……116
Figure 5.8 : Les standards du format IFC……117
Figure 5.9 : Exemple de process BPMN……120
Figure 6.1 : Géoréférencement selon différents calques de relevé (SIG)……123
Figure 6.2 : Espace de travail en DAO-CAO : univers plat……124
Figure 6.3 : Monde réel- la terre est ronde……124
Figure 6.4 : Schéma de positionnement d'une maquette numérique par rapport à l'origine absolue d'un logiciel CAO……125
Figure 6.5 : Exemple de bâtiments modélisés et regroupés dans un seul fichier général……125
Figure 6.6 : L'origine absolue dans un logiciel CAO-DAO……126
Figure 6.7 : Position d'une maquette numérique de projet à l'échelle d'une parcelle……126
Figure 6.8 : Position d'une maquette numérique de projet par rapport au point de base projet et le point topographique……127
Figure 6.9 : symbole de l'origine absolue, point de base projet et point topographique sur Revit……128
Figure 6.10 : paramètre de géoréférencement dans les logiciels DAO-CAO……129
Figure 6.11: FARO Focus S 70 laser scanner……130
Figure 6.12: catégories de scanner 3D : Triangulation laser et lumière structurée……131
Figure 6.13: catégories de scanner 3D : Photogrammétrie……132
Figure 6.14: catégories de scanner 3D : par contact et impulsion laser……132
Figure 6.15: Le Scan to BIM- du nuage de points à la Maquette BIM……133
Figure 6.16: Des mesures de hauteur sont prises sur un nuage de points……134
Figure 6.17 : Nuage de points d'un bâtiment……135
Figure 6.18 : Nuage de points utilisé comme calque de modélisation……136
Figure 6.19 : Création de niveaux sur la base du nuage de points……136

Figure 7.1 : la hiérarchisation des objets selon une logique d'un système de classification.....139
Figure 7.2 : Système de classification énumératifs.....143
Figure 7.3 : Système de classification à facettes.....144
Figure 7.4 : Exemple explicatif de la classification par facettes.....144
Figure 7.5 : Système de classification énumératifs à facettes.....145
Figure 7.6 : combinaison deux types d'organisation hiérarchique par classement et par composition.....146
Figure 7.7 : les systèmes de classification les plus utilisés en Europe.....147
Figure 7.8 : les systèmes de classification les plus utilisés dans le monde.....147
Figure 7.9 : Exemple de classification UniFormat avec usBIM.viewer+.....149
Figure 7.10 : Exemple de classification MasterFormat avec usBIM.viewer+.....151
Figure 8.1 : la coordination BIM.....156
Figure 8.2: Visualisation d'un conflit physique (360 Glue).....158
Figure 8.3: Clash rule from Navisworks.....164
Figure 8.4 : Solibri- choisir les jeux de règles appropriés.....165
Figure 8.5: Solibri- vérification des modèles.....165
Figure 8.6 : Solibri- résultats du contrôle de collision.....166
Figure 8.7 : Collision dans Solibri entre le mur et le système HVAC.....167
Figure 8.8 : Solibri- commenter et déléguer le problème de collision.....167
Figure 8.9 : Création de la présentation des résultats de coordination dans Solibri.....168
Figure 8.10 : Diagrammes de rapport de collisions dans BIM Collab.....169
Figure 9.1 : La 4D est obtenue par ajout d'une dimension à un cube.....171
Figure 9.2 : La 4D est généralement représentée sous la forme d'un Hypercube.....171
Figure 9.3 : Interface de la modélisation et de la WBS dans un diagramme de GANTT issu du logiciel Edificius.....172
Figure 9.4 : diagramme de Gantt.....173
Figure 9.5 : diagramme de Gantt géré par un logiciel.....173
Figure 9.6 : Évolution temporelle du projet- timeline GANTT en Rendu en Temps Réel- réalisé avec Edificius.....174
Figure 9.7 : Autodesk Naviswork pour la planification 4D.....175
Figure 9.8 : logistique et animation d'une gestion d'un chantier.....176
Figure 9.9 : Construction de la WBS- réalisé avec Edificius.....176
Figure 9.10 : Affectation des objets BIM aux activités pour création diagramme de Gantt- réalisé avec Edificius.....177
Figure 10.1: Igloo fabriqué à partir de neige et tipi amérindien fabriqué à partir de ressources naturelles.....180
Figure 10.2: Phase importation IFC – BIM – BEM.....186
Figure 10.3: Logiciel BEM / Modèle énergétique d'un bâtiment 187
Figure 10.4: La modélisation énergétique des bâtiments (BEM) est un outil polyvalent pour l'efficacité énergétique des bâtiments.....189

Chapitre 1 : Introduction au BIM (Building Information Modelling)

1.1. Introduction

1.2. Méthodes traditionnelles de conception et de construction

1.3. Problèmes associés aux méthodes traditionnelles

1.4. Le BIM

1.5. Historique du BIM

1.6. Les avantages du BIM

1.7. Dessin, modélisation 3D et maquette numérique

1.8. Les problèmes rencontrés lors de l'utilisation du BIM

1.9. Adoption du BIM dans le monde

Chapitre 1 : Introduction au BIM (Building Information Modelling)

1.1. Introduction

Pour mieux comprendre et appréhender les nouveautés qu'apporte le BIM, il serait intéressant d'aborder dans un premier temps les méthodes traditionnelles de conception et construction utilisées aujourd'hui ainsi que les modèles commerciaux prédominants utilisés dans le secteur de la construction. Nous aborderons par la suite divers problèmes associés aux pratiques actuelles. Par la suite nous définirons ce que c'est que le BIM tout en abordant son histoire. Nous parlerons aussi de la différence entre le BIM et les modèles DAO (Dessin-assisté-par ordinateur) 2D et 3D, des problèmes que le BIM peut résoudre, ainsi que celles rencontrée lors de son utilisation.

1.2. Méthodes traditionnelles de conception et de construction

Selon (C. M. Eastman, Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011), le processus de livraison des constructions reste fragmenté et dépend des modes de communication basés sur du papier (figure 1.1). Les erreurs et omissions dans les documents papier entraînent souvent des coûts inattendus sur le terrain, des retards et des poursuites judiciaires éventuelles entre les différentes parties d'une équipe de projet. Les efforts récents pour résoudre ces problèmes comprennent : des structures organisationnelles alternatives telles que la méthode de conception-construction ; l'utilisation de technologies en temps réel, telles que les sites Web de projets pour le partage de plans et de documents ; et la mise en place d'outils de CAO 3D. Bien que ces méthodes aient amélioré l'échange d'informations en temps voulu, elles n'ont guère contribué à réduire la gravité et la fréquence des conflits causés par des documents papier.

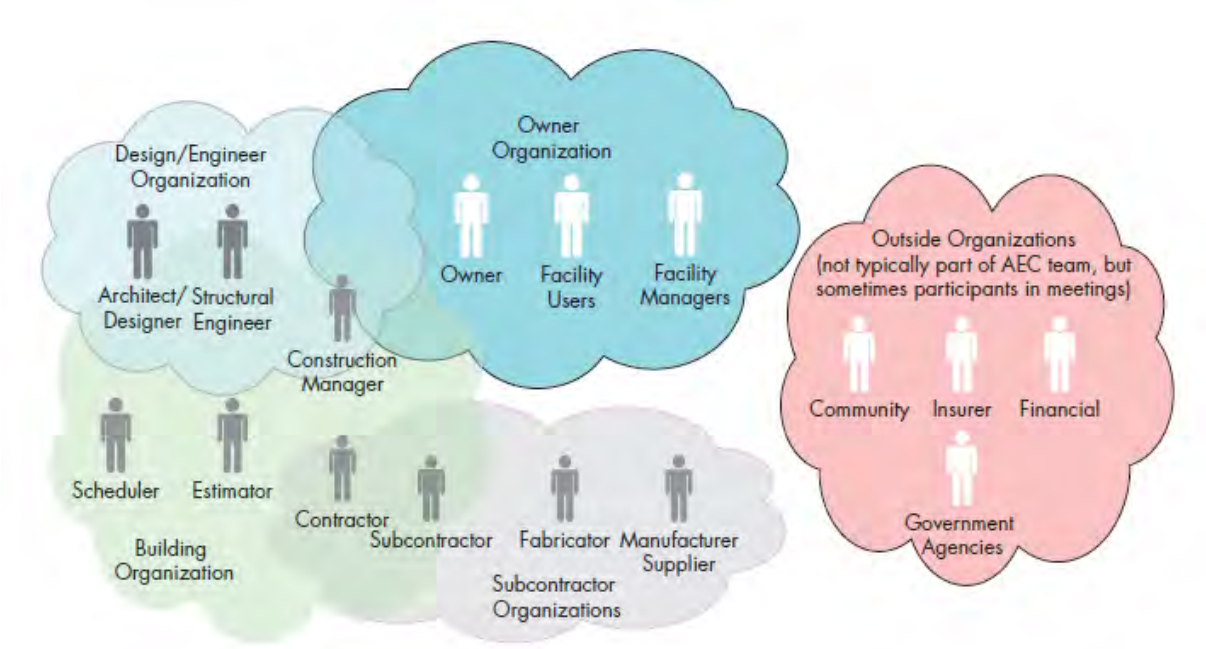


Figure 1.1: Diagramme conceptuel d'une équipe AEC

Source : Sacks et al. (2018)

Un des problèmes les plus courants associés à la communication sur papier au cours de la phase de conception est le temps et les dépenses considérables nécessaires pour générer des informations d'évaluation critiques sur une conception proposée, notamment des estimations de coûts, une analyse de la consommation d'énergie, des détails structurels, etc. normalement fait en dernier, quand il est déjà trop tard pour faire des changements importants. Étant donné que ces améliorations itératives ne se produisent pas pendant la phase de conception, la conception originale risque fortement d'être altérée par des modifications nécessaires (problème de structure, problème de consommation énergétique, etc.). (C. M. Eastman et al., 2011)

Les deux principaux modes de la conception et de la construction des bâtiments sont : la méthode traditionnelle (conception – appel d'offres – construction) et la méthode projet design-construction. (Figure 1.2)

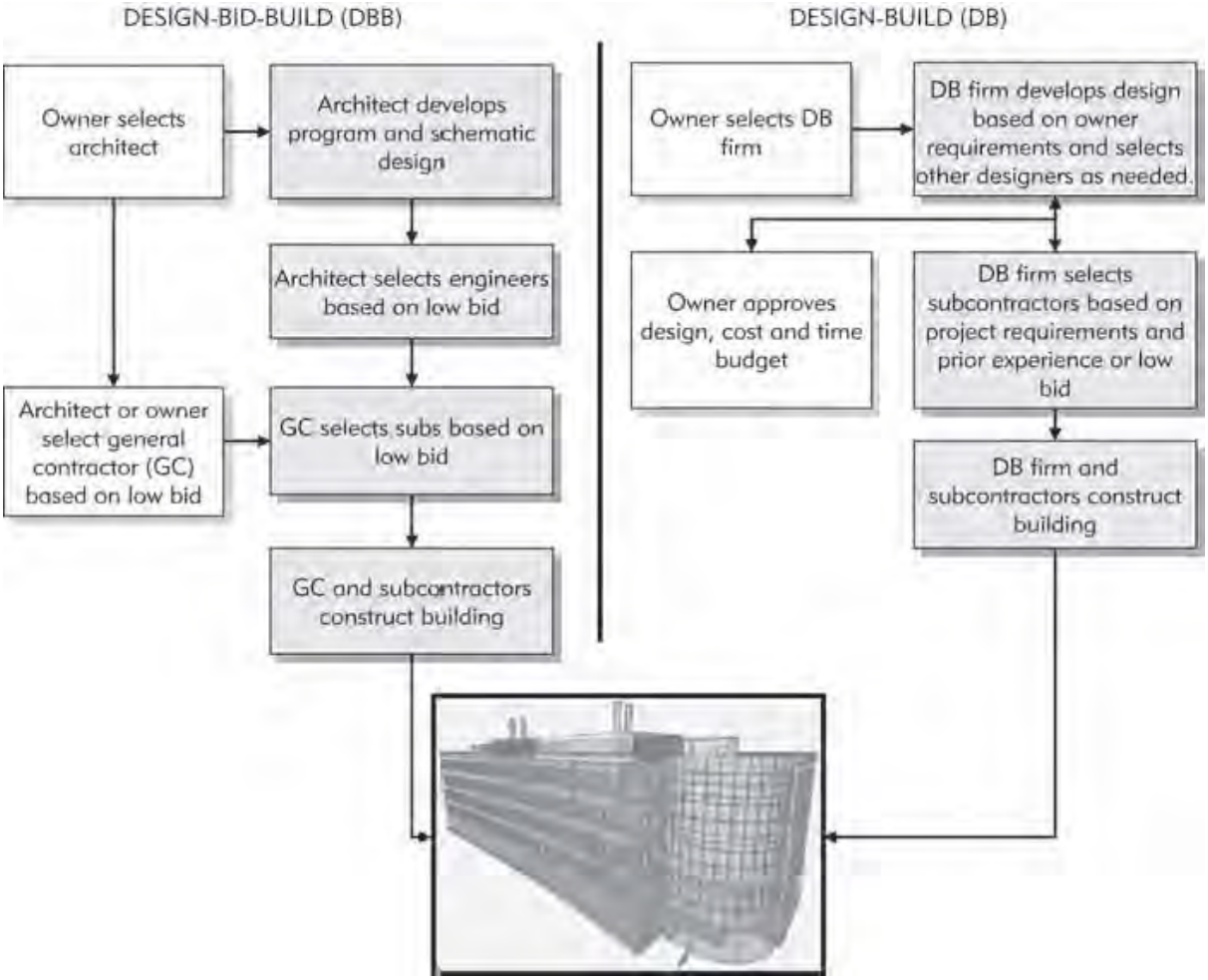


Figure 1.2 : Diagramme schématique des deux méthodes : conception – appel d'offres – construction / projet design-construction

Source : Eastman et al. (2011)

1.2.1. La méthode conception – appel d'offres – construction

Ce mode s'appuie sur un système de livraison de projet où le propriétaire passe des contrats séparément avec un concepteur (architecte) et un constructeur (entrepreneur). Le propriétaire passe normalement un contrat avec une entreprise de conception pour fournir des documents de conception « complets ». Le propriétaire sollicite alors généralement des offres à prix fixe auprès des entrepreneurs pour exécuter les travaux. Un entrepreneur est généralement sélectionné et conclut un accord avec le propriétaire pour construire une installation conformément aux plans et devis. (Plusquellec, Lehoux, & Cimon, 2017)

Selon (Ratnasabapathy, Rameezdeen, & procurement, 2006) les caractéristiques spécifiques du système (conception – appel d'offres – construction) sont la séparation rigide de la conception

et du processus de construction et le manque d'intégration à cause de cette séparation (Cox & Townsend, 1998). Ce système offre une contribution minimale des entrepreneurs au processus de conception.

Selon (Ratnasabapathy et al., 2006) la méthode (conception – appel d'offres – construction) a survécu pendant de nombreuses années, car elle présente plusieurs avantages. Il s'agit notamment de la familiarité des participants avec le processus de construction, de leurs relations contractuelles testées, affinées et largement comprises, et des lignes claires d'autorité et de responsabilité. De plus, les propriétaires ont un contrôle total sur la conception du moment que les consultants sont directement engagés par eux. Cependant, cette méthode contient certaines limites, notamment la fragmentation verticale, la lenteur de l'adoption de l'innovation, la faible productivité et l'absence de responsabilité unique. (Ling & Kerh, 2004)

1.2.2. La méthode projet design-construction

Le processus de projet design-construction a été développé pour consolider la responsabilité de la conception et de la construction en une seule entité contractante et pour simplifier l'administration des tâches pour le propriétaire (Beard, Wundram, & Loulakis, 2001). Les figures 1 et 2 illustrent ce processus.

Dans ce modèle, le propriétaire passe un contrat directement avec une seule entité (équipe de projet design-construction) pour effectuer à la fois la conception et la construction dans le cadre d'un seul contrat de projet design-construction (Plusquellec et al., 2017). L'entrepreneur en construction estime ensuite le coût total et le temps nécessaires pour construire le bâtiment. Une fois toutes les modifications demandées par le propriétaire mises en œuvre, le plan est approuvé et le coût estimatif final du projet est établi (C. M. Eastman et al., 2011). Des parties ou la totalité de la conception et de la construction peuvent être effectuées par une seule entité de projet design-construction ou par une sélection d'équipes spécialisées. Dans certains cas, toutes les activités peuvent être sous-traitées à d'autres entreprises (Konchar, Sanvido, & management, 1998).

Cette méthode est caractérisée par une collaboration entre les équipes de conception et de construction. Il est important de noter que du moment que ce modèle permet d'apporter des

modifications à la conception du bâtiment plus tôt dans le processus, le coût et le temps nécessaires pour intégrer ces changements sont également réduits (C. M. Eastman et al., 2011). Sans oublier aussi que dès la phase conception, les besoins du processus de construction sont pris en compte. Ceci permet d'identifier et de résoudre les éventuels problèmes, ainsi la construction est généralement achevée plus rapidement, avec beaucoup moins de complications juridiques et à un coût total quelque peu réduit. A titre d'exemple, les logements LPA en Algérie sont réalisés suivant cette méthode.

1.3. Problèmes associés aux méthodes traditionnelles

Selon Arayici (Arayici, 2015), les problèmes associés aux méthodes traditionnelles de l'industrie de la construction peuvent se résumer en quatre points, à savoir : la gestion de la communication entre les professionnels de la construction, la résistance au changement à toute nouvelle amélioration, les technologies de l'information IT et le manque d'interopérabilité et d'incompatibilité, ainsi que le mauvais investissement dans ces technologies d'informatiques.

1.3.1. La Gestion - Manque de réflexion sur la gestion stratégique à long terme

L'absence de techniques et de méthodes de gestion sophistiquées est un problème dominant dans les pratiques courantes de l'industrie de la construction. De nombreuses recherches ont mis en évidence le manque cohérent d'expertise en gestion et les mauvaises applications de la gestion stratégique dans l'industrie de la construction. Parmi les stratégies de gestion dont il est question "les systèmes intégrés" dans le domaine de la communication. Dans l'industrie de la construction, il est souvent laissé aux technologues de gérer les problèmes associés à ce domaine.

Selon un certain nombre d'organisations de construction, les causes sous-jacentes des problèmes liés à l'adoption et à l'utilisation de systèmes d'information intégrés peuvent être attribuées aux éléments suivants :

- Mauvaise gestion et communication
- Expertise technique inadéquate

- Un manque de disponibilité des logiciels
- La nature fragmentée de l'industrie
- Un manque de standardisation et de procédures uniformes
- Le nombre d'acteurs impliqués dans les projets de construction
- Les coûts de mise en œuvre

1.3.2. La Gestion du changement - Résister à la culture de l'industrie

Bien qu'elle ne soit pas exprimée ouvertement, la résistance au changement, par exemple, à la mise en œuvre et à l'utilisation de technologies intégrées par les professionnels de la construction, ralentit souvent le rythme des progrès dans l'adoption de systèmes informatiques sophistiqués. Cette situation est aggravée par la nature fragmentée de l'industrie et le nombre d'intervenants impliqués. Les raisons de résister au changement incluent souvent le désir de ne pas perdre les applications informatiques existantes en raison de leur familiarité et la conviction que le changement n'a aucun sens pour l'entreprise. Il est clair que le niveau de résistance au changement a une relation indirecte avec le niveau de compétences informatiques dans les organisations de construction et une relation directe avec le degré de complexité des systèmes proposés.

1.3.3. Les services des technologies de l'information IT - Manque d'interopérabilité et d'incompatibilité

Les ordinateurs d'aujourd'hui sont plus rapides, plus petits, plus faciles à utiliser et plus intelligents que ceux d'il y a seulement quelques années. Ils sont capables de stocker et de traiter des données, du texte, des voix, des vidéos et des images ainsi que des graphiques. Tous ces développements technologiques offrent aux entreprises de construction de nouvelles façons de rivaliser.

Cependant, le succès des progrès des technologies de l'information (IT : Information Technology) dans le secteur de la construction repose sur la capacité d'échanger et de partager des informations entre les parties prenantes du projet, en utilisant des liens IT appropriés. Cela dépend à son tour sur des normes et des approches communes. L'utilisation de systèmes fonctionnels tels que la conception, l'estimation, la planification, l'établissement des coûts et

les systèmes d'information intégrés est souvent influencée par leur disponibilité commerciale ou leur développement en interne.

La complexité croissante et les besoins en traitement de l'information des entreprises de construction les encouragent à tirer parti de l'utilisation des systèmes IT, mais un manque de compatibilité avec d'autres systèmes limite les avantages potentiels de la technologie. Ce problème deviendra critique lorsque le besoin de partage d'informations sera étendu d'une échelle locale à une échelle nationale et mondiale.

1.3.4. Investissement dans les IT - Manque de standardisation

La technologie de l'information a contribué de manière significative à la gestion de l'information, à l'efficacité commerciale et aux avantages concurrentiels dans les entreprises de construction. Cependant, les progrès des IT dépendent dans une certaine mesure de l'évaluation des projets IT et des investissements. Par conséquent, une appréciation des coûts et des avantages immatériels des investissements dans les IT est devenue un enjeu majeur pour les professionnels des technologies de l'information.

Les organisations de construction utilisent différents systèmes de comptabilité analytique pour mesurer les performances de l'entreprise. L'investissement dans l'informatique et les technologies intégrées est généralement représenté comme un coût et non comme un avantage. En conséquence, les propriétés à valeur ajoutée des systèmes intégrés aux projets de construction ne sont pas pleinement appréciées.

Cela influence le niveau d'investissement dans les IT qui, à son tour, entrave les progrès vers la normalisation. Dans les petites organisations de construction, le problème peut être beaucoup plus important, en raison de l'indisponibilité des investissements initiaux. Un grand nombre d'entreprises de construction a estimé que, localement, cela avait de sérieuses implications pour la survie des petites entreprises et, à long terme, cela retarderait l'avancement des IT dans le secteur de la construction en termes de normalisation.

1.4. Le BIM

1.4.1. Pourquoi le BIM ?

Initialement, les formats d'import et d'export des logiciels étaient très limités. La plupart d'entre eux possédaient même leurs **propres formats**, dits natifs.
Mais, quand les différents corps de métiers de la **conception** et de la **construction d'édifices** ont eu besoin de s'échanger leurs modèles, ces formats natifs sont devenus problématiques.

C'est pour créer un modèle d'échange de données dédié au bâtiment, basé sur les objets de la maquette, qu'un consortium est né : l'IAI, **International Alliance for Interoperability**. Ce consortium deviendra **Building Smart International** en 2005.
Les différents acteurs du consortium ont ensuite mis en place des procédures pour **organiser cette coopération** au niveau des maquettes et la manager au niveau de la gestion de projet. C'est ainsi qu'est né le **BIM**.

Figure 1.3 : Open BIM et l'interopérabilité entre les different logiciels

Source : biblus.accasoftware.com

1.4.2. Qu'est-ce que le BIM ?

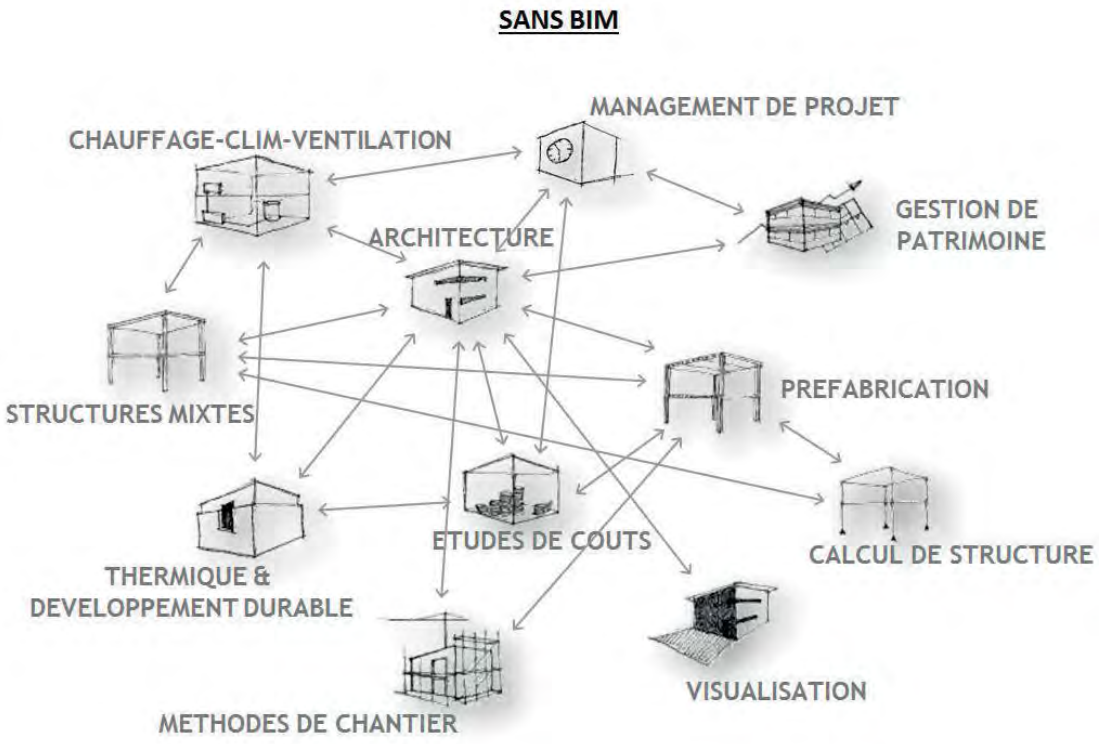
Le sigle signifie selon les cas : *modèle, modélisation, management* des informations du bâtiment (Nagy, Celnik, & Lebègue, 2015).

Building Information Model : le fichier créé avec un logiciel métier spécifique, alliant objets, géolocalisation, géométrie, sémantique...

Building Information Modelling : le processus de travail de ceux qui utilisent ces outils, dans un esprit de constitution de base de données du projet et d'échange entre acteurs.

Building Information Management : le processus de gestion du projet, à travers des outils tels que **la maquette numérique**, le management de l'information et des acteurs.

Le BIM est une manière intégrée de travailler, permettant une conception, une exécution et une gestion cohérentes des bâtiments et des biens immobiliers (figure 1.4). Ce n'est pas un outil, un logiciel, c'est un processus de travail et de collaboration entre intervenants d'un projet de construction, reposant sur des outils métiers particuliers qui permettent la conception et l'exploitation d'une maquette numérique, préfigurant le bâtiment tel que construit et exploité.



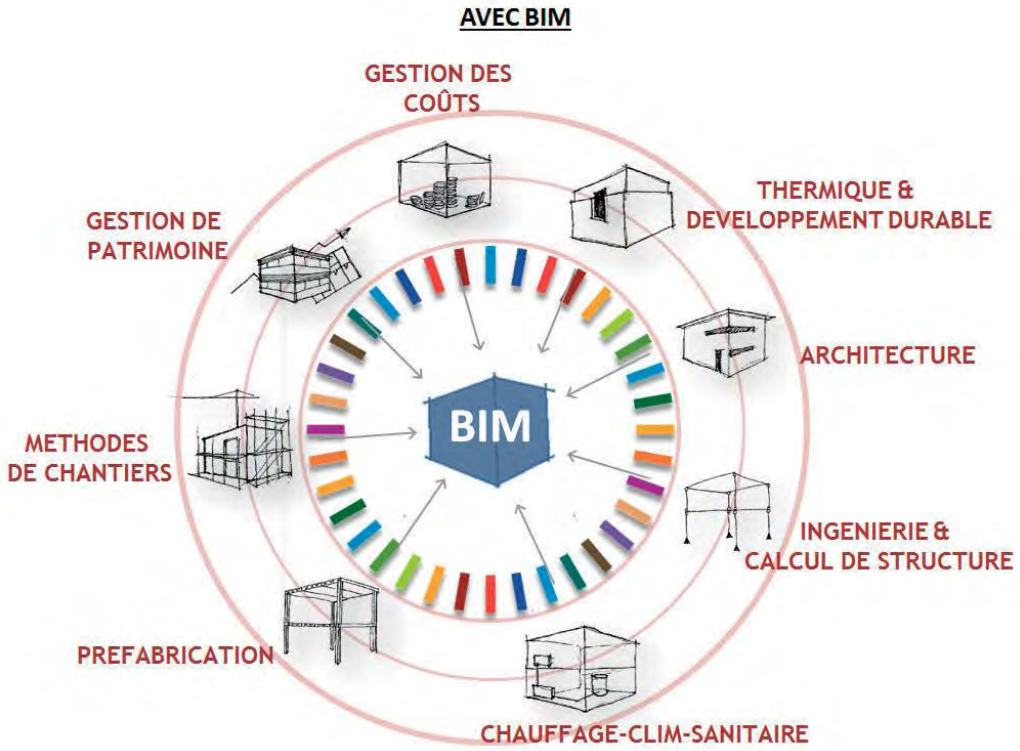


Figure 1.4 : Illustration entre la méthode de gestion des données actuelle et la méthode BIM

Source: Nagy et al. (2015)

1.4.3. Maquette numérique (MN)

Selon Wikipédia, "Une maquette numérique est une représentation géométrique d'un produit, généralement en 3D, réalisé sur ordinateur de façon à l'analyser, le contrôler et en simuler certains comportements."

Les termes « analyser », « contrôler », et surtout « simuler » supposent que la base de données géométrique 3D est sémantisée c'est-à-dire qu'elle contient des informations sur la nature des objets qui la composent.

Selon Nagy et al. (2015), la maquette numérique est sémantique lorsqu'elle est produite avec des logiciels BIM tel que Revit, ArchiCAD...etc. alors qu'elle n'est pas sémantique lorsqu'elle est produite avec des logiciels 3D classiques "DAO-CAO" comme SketchUp ou 3DS Max. Dans ce cas-là on parle plutôt de "maquette 3D". Par conséquent, le BIM correspond à la maquette numérique sémantisée du bâtiment.

1.5. Historique du BIM[1]

Selon Vanessa Quirk (Quirk, 2012), c'est depuis déjà 30 ans que le terme BIM devient omniprésent dans le monde de la construction. Le concept du BIM n'est pas le fait d'une seule et unique personne, mais découle d'une riche histoire de l'innovation qui provient à la fois des Etats-Unis, d'Europe Centrale et du Nord, du bloc soviétique, et qui s'étend jusqu'au Japon. Leur objectif commun était de sortir la conception architecturale du processus traditionnel lié à la CAO en 2D et de l'associé à une base de données.

1.5.1. Les débuts du BIM

Si la technologie BIM, comme concept, parait nouvelle, il faut savoir que ses fondements remontent aux prémices de l'informatique. C'est en 1962 que Douglas C. Englbart publie un article intitulé " *Augmenting Human Intellect"* avec sa vision de l'avenir de l'architecture et dont l'apparition de quelques idées et concepts étranges, tels que : *« Ensuite l'architecte commence à entrer une série de spécifications et de données - une dalle de six pouces d'épaisseur, des murs de 12 pouces d'épaisseur en béton, hauts de 8 pieds, à l'intérieur d'une fouille - et ainsi de suite. Une fois terminée, la scène éditée apparaît à l'écran. Une structure prend forme. Il examine, il ajuste… Ces listes grandissent et deviennent toujours plus détaillées, liant différentes structures, qui représentent la maturité de la conception en cours. »* (Engelbart & Boston, 1962)

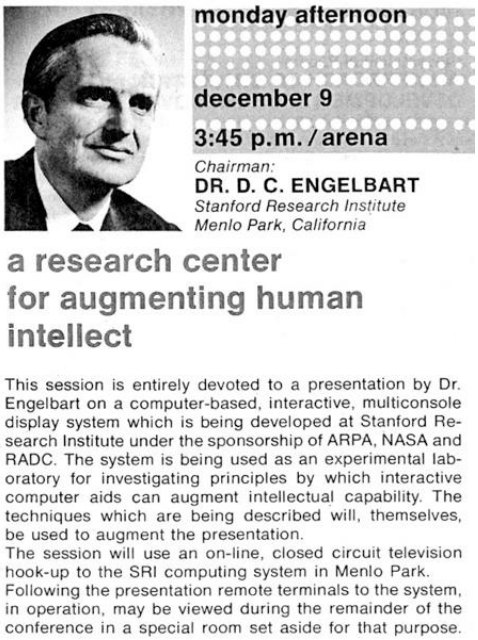


Figure 1.5 : Poster de la session de présentation du projet du DR D.C ENGELBART

Source : dougengelbart.org

[1] Cette partie est développé en s'appuyant sur un *très riche reportage posté par Vanessa Quirk sur le blog "archidaily.com" le 07 décembre 2012.*

La vision d'Englbart tourne autour d'une conception orientée objet, des manipulations paramétriques, des bases de données liées. Puis en 1975, un concept le plus proche du BIM a été documenté pour la première fois par un prototype fonctionnel appelé « Système de description de bâtiment », et il a été publié au Journal AIA par Charles M. Eastman, où plusieurs concepts du BIM ont également été mentionnés, tels que : *"Définir des éléments de manière interactive. . . dérivées sections, plans, perspectives isométriques à partir de la même description des éléments. . . Tout changement d'arrangement ne devrait être effectué qu'une seule fois pour que tous les dessins à venir soient mis à jour. . .. N'importe quel type d'analyse quantitative pourrait être couplé directement à la description. . . une estimation des coûts ou des quantités de matériaux pourraient être facilement générées." (C. J. A. J. Eastman, 1975)*

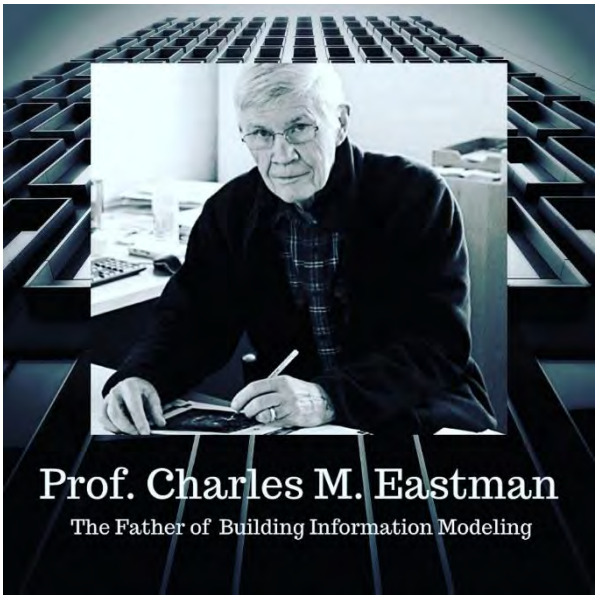


Figure 1.6 : Prof. Charles M. Eastman

Source : x.com

1.5.2. Visualiser le modèle

"Sketchpad program" développé par Ivan Sutherland en 1963 a été le premier programme à proposer une interface graphique, en utilisant un moniteur et un crayon optique (figure 6). À partir de Sketchpad de Sutherland, des programmes de modélisation solide ont commencé à apparaître en s'appuyant sur les développements de la représentation informatique de la géométrie. Avec ce programme, Sutherland a été un des pionniers de la modélisation 3D, de la simulation visuelle et de l'interface graphique.

Figure 1.7 : Sketchpad program" d'Ivan Sutherland en 1963

Source: wikipedia

1.5.3. Conception par base de données (Database Building Design)

L'une des problématiques liées à l'intégration du BIM dans les ouvrages d'art et les bâtiments concerne la décomposition de l'architecture en ses éléments constitutifs, avec une taxonomie de ses parties, nécessaire à la constitution de bases de données BIM.

L'un des premiers projets ayant créé avec succès une base de données de bâtiment est le '**Building Description System**' (BDS). Ce projet a été conçu en 1974 par **Charles Eastman**.

Eastman affirme que les dessins pour la construction sont inefficaces et provoquent des redondances d'un objet représenté à plusieurs échelles. Il critique également les dessins sur papier pour leur tendance à se détériorer avec le temps, et du fait que ça ne permet pas de mettre à jours les rénovations de l'ouvrage pendant son cycle de vie.

Eastman estimait que le BDS devrait réduire les coûts de conception de plus de 50% grâce à "l'efficacité de représentation et d'analyse". Le BDS a été programmé, avant l'apparition des ordinateurs personnels, sur un PDP-10 (figure 7). Seuls de rares architectes ont été capables de travailler via le programme BDS, et selon Quirk.V, il n'est pas certain de pouvoir affirmer qu'un projet réel ait été mené à terme grâce à ce logiciel.

Figure 1.8 : Photographie d'un PDP-10.

Source : *archidaily.com*

Le projet d'Eastman, **GLIDE** (Graphical Language for Interactive Design), créé en 1977 à l'université de Carnegie Mellon présente la plupart des caractéristiques d'une plateforme BIM actuelle. La figure 1.9 est une image extraite de l'ouvrage de Charles Eastman "Glide". « Les entrants à gauche permettent de générer des escaliers que l'on peut ensuite ajuster de manière paramétrique ».

```
POLY PROCEDURE spiral.step(POLY centre;
        REAL riser,radius,r,angle,th)=
    BEGIN
    POLY support =
        triangle(radius*0.95,-riser*0.8,th);
    POLY collar = column(12,riser,r);
    POLY plate = wedge(radius,th,angle);
    ! return the result of shape operations;
    CUT centre FROM  COMBINE collar WITH
          COMBINE support WITH plate
    END;

To make spiral staircase, (dimensions in inches)
  SET PROCEDURE spiral.stair(ht,radius,angle)=
    BSET; INTEGER numsteps; REAL riser;
    numsteps ← ht/8.0;
    riser ← ht/numsteps;
    POLY centre = column(12,ht+32.0,5.0);
    POLY step = spiral.step(centre,
        riser,radius,3.0,angle,0.625);
    FOR i TO numsteps
        DO COPY step=(0,riser*i \0,angle*i)
    ESET;

  SET stair1 = spiral.stair(100.0,46.0,30.0);
```

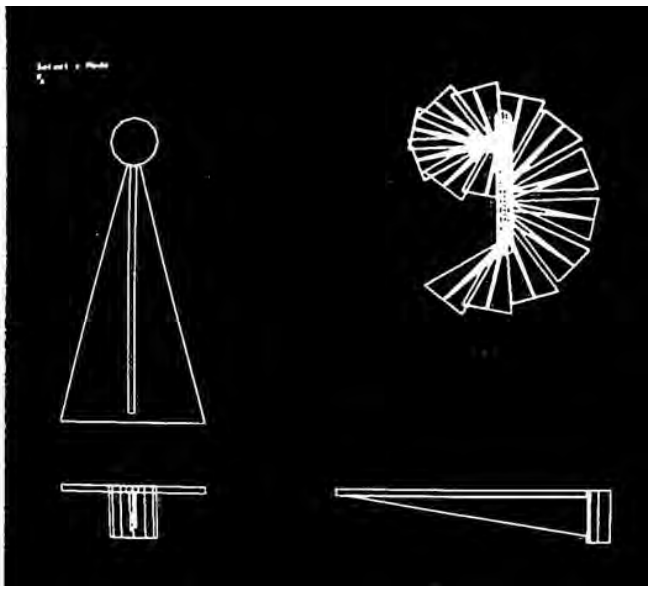


Figure 1.9 : Image extraite de l'ouvrage de Charles Eastman "Glide"

Source: archidaily.com

Au début des années 1980, plusieurs systèmes développés en Angleterre ont gagné du terrain et ont été appliqués à des projets construits. Ceux-ci incluent GDS, EdCAAD, Cedar, RUCAPS, Sonata et Reflex.

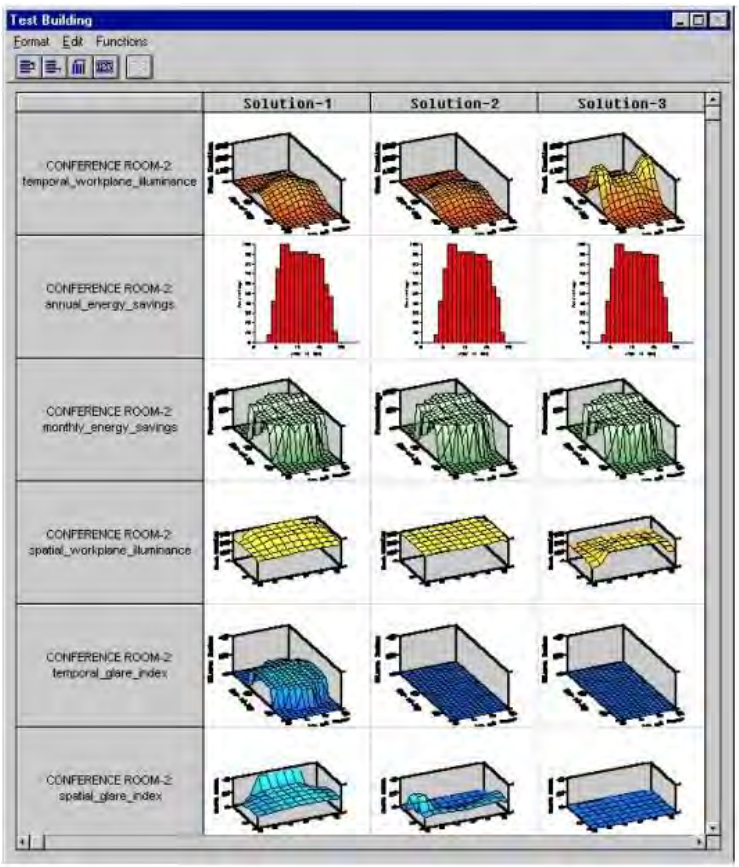


Figure 1.10 : Exemple de la comparaison de différents scénarios, l'un des fondements du BIM, via le "Decision Desktop".

Source : archidaily.com

A partir de 1993, on assiste à un exemple plus récent, mais important d'un outil de simulation qui a donné des commentaires et des solutions `` suggérées '' basées sur un modèle, c'est le "Building Design Advisor" développé à Lawrence Berkeley National Lab. Ce programme a été l'un des premiers à intégrer une analyse graphique et des simulations pour fournir des informations sur la façon dont le projet pourrait fonctionner dans des conditions alternatives concernant l'orientation, la géométrie, les propriétés des matériaux et les systèmes de construction du projet (figure 9).

1.5.4. Le bâtiment virtuel

Ce sont les soviétiques, grâce à deux programmateurs de génie Leonid Raiz et Gabor Bojar, qui vont définir le marché de BIM tel que nous le connaissons aujourd'hui. Leonid Raiz et Gabor Bojar allaient respectivement devenir co-fondateur et fondateur de Revit et d'ArchiCAD.

En employant une technologie proche de “Building Description System”, en 1984, Gábor Bojá publie le Radar CH de Graphisoft pour l’OS Apple Lisa (figure 9). Le Radar CH est relancé en 1987 en tant qu’ArchiCAD, et faisant ainsi d’ArchiCAD le premier logiciel disponible sur un ordinateur personnel.

Figure 1.11 : ArchiCAD 2.0 sur un Macintosh SE/30

Source : archidaily.com

Peu de temps après que Graphisoft commence à vendre les premières parts de Radar CH (qu’ArchiCAD 2.0 allait remplacer en 1986), Parametric Technology Corporation (PTC) est créé (en 1985) et édite une première version de Pro/ENGINEER en 1988. C’est un logiciel de conception assistée par ordinateur qui utilise un moteur de modélisation paramétrique contraint.

Forts des connaissances acquises via Pro/ENGINEER, Irwin Jundreis et Loenid Raiz quittent PTC et fondent leur propre entreprise de logiciel appelée “Charles River Software”, basée à Cambridge.

En 2000, Irwin Jundreis et Loenid Raiz développent une version architecturale du logiciel supportant des projets plus complexes qu’ArchiCAD. Ce logiciel est appelé “Revit”, un jeu de

mots associant la révision du modèle “Rev” et la rapidité “it”. Revit est écrit en C++ et utilise un moteur de changements paramétriques, rendant possible la programmation orientée objets.

En 2002, Autodesk achète l’entreprise et commence à promouvoir de façon active le logiciel. Revit a révolutionné le monde du Building Information Modelling, en ouvrant la porte à la “quatrième dimension” (temps) du modèle de bâtiment. Cela permet aux entreprises de générer des plannings de construction basés sur les modèles BIM et ainsi de simuler le phasage travaux.

L’un des premiers projets de conception réalisée sur Revit a été la Freedom Tower à Manhattan (figure 1.12). Ce projet a été mené à bien par la création d’une série de modèles Revit séparés, mais liés, incluant des plannings permettant d’avoir une idée en temps réel des coûts et matériaux consommés.

Figure 1.12 : Extrait de la maquette numérique de la Freedom Tower – Revit 2005.

Source : archidaily.com

1.6. Les avantages du BIM

Les avantages du BIM sont multiples pour tous les intervenants (architectes, ingénieurs, entrepreneurs...etc.) et à toutes les phases d’un projet. Selon Sacks (Sacks, Eastman, Lee, & Teicholz, 2018), Le BIM est au cœur des moyens par lesquels le processus de conception et de

construction de bâtiments peut répondre aux pressions croissantes pour une plus grande complexité, un développement plus rapide, une durabilité améliorée, des coûts réduits et une exploitation et une maintenance plus efficaces et efficientes des bâtiments. La pratique traditionnelle n'est pas en mesure de répondre à ces pressions. Les sections suivantes décrivent brièvement comment cette performance améliorée peut être obtenue.

Avantages pré-construction pour les maitres d'ouvrage et les concepteurs

- Permettre des analyses, des simulations et des études de faisabilité du projet avant la construction, ce qui permet entre autres de savoir très tôt si les objectifs fixés par les maitres d'ouvrage sont possibles et couverts par le budget initial.
- Augmentation des performances et de la qualité du bâtiment grâce au modèle virtuel 3D qui aide à la vérification des critères fonctionnels et environnementaux d'un projet.
- Amélioration de la collaboration entre les intervenants en utilisant "Integrated Project Delivery" IPD, ce qui permet une meilleure compréhension des critères du projet.

Avantages pour la conception (Architectes et Ingénieurs)

- Visualisations précoces et plus précises d'une conception grâce au modèle 3D généré par le logiciel BIM. Ça permet d'effectuer des visualisations précises à toutes les étapes du processus, et est automatiquement consistant dans toutes les vues.
- Corrections automatiques dès les premières phases du processus grâce à la composition du modèle d'objets paramétriques, ce qui permet d'éviter d'erreur de géométrie, notamment lors des modifications.
- Génération de dessins 2D précis et cohérents à toutes les étapes de la conception. Cela réduit considérablement le temps et le nombre d'erreurs associés à la génération de dessins de construction.
- Collaboration facile et simultanée entre les intervenants grâce à l'utilisation d'un même modèle 3D.

- Vérification facile de la cohérence des objectifs de la conception, du respect des normes en vigueur et des critères du projet tant au niveau quantitatif que qualitatif.
- Extraction d'estimations de coûts en temps réel et à tout moment pendant la phase de conception. Cela permet d'avoir un retour immédiat sur les conséquences budgétaires d'une modification ou d'une variante.
- Amélioration de l'efficacité énergétique et de la durabilité d'un bâtiment grâce aux analyses et simulations des performances énergétiques et environnementales qui peuvent être réalisées très tôt dans l'étude, ce qui fournit l'opportunité de corriger la conception au besoin.

Avantages lors de la construction et préfabrication (entrepreneurs et fabricants)

- Utilisation du modèle 3D comme la base pour les composants fabriqués.
- Réaction rapide aux modifications de conception due à la découverte des erreurs et omissions avant même le début des travaux.
- Les conflits et autres problèmes de construction sont visualisés au stade des études et non sur le chantier grâce aux objets paramétriques du modèle virtuel.
- Synchronisation de la conception et de la planification de la construction grâce au 4D, qui ajoute la dimension temps au modèle virtuel 3D.
- Le modèle 3D permet l'extraction de tous les matériaux et ressources nécessaires à chaque étape du projet.
- Synchronisation de l'approvisionnement avec la conception et la construction (comme la quantité de béton préfabriqué).

Avantages post-construction (Propriétaires)

- Amélioration de la mise en service des installations en insérant dans le modèle 3D toutes les informations collectées durant la construction, qui seront ensuite remises aux propriétaires.
- Meilleure gestion et exploitation des installations grâce au modèle 3D remis aux propriétaires.

1.7. Dessin, modélisation 3D et maquette numérique

Étant donné qu'on a déjà procédé à la définition de la maquette numérique un peu plus haut, l'objectif de cette section est de démêler, plus-au-moins, la différence entre ces trois modèles de représentation et de modélisation à savoir, le dessin, la modélisation 3D et la maquette numérique, en abordant leurs objectifs et les moyens de leurs réalisations[2].

1.7.1. Dessin

Son objectif est de respecter les conventions graphiques usuelles du dessin de bâtiment telles que : le plan est représenté comme une coupe horizontale à 1m de hauteur ; les parties coupées sont représentées par des traits pleins épais ; le sens de monté d'un escalier est représenté avec une flèche sur une ligne de foulée...etc.

Les moyens nécessaires à leurs réalisations sont les logiciels de dessin 2D tel qu'Auto CAD (figure 1.13), regorgent de fonctions graphiques permettant de respecter à la lettre toutes conventions graphiques. C'est des planches à dessiner et c'est à l'utilisateur de tout dessiner lui-même. Il n'y a aucune relation entre plans coupes et vues en 3D. Le dessinateur devra construire chacun de ces dessins comme on le faisait dans la géométrie descriptive.

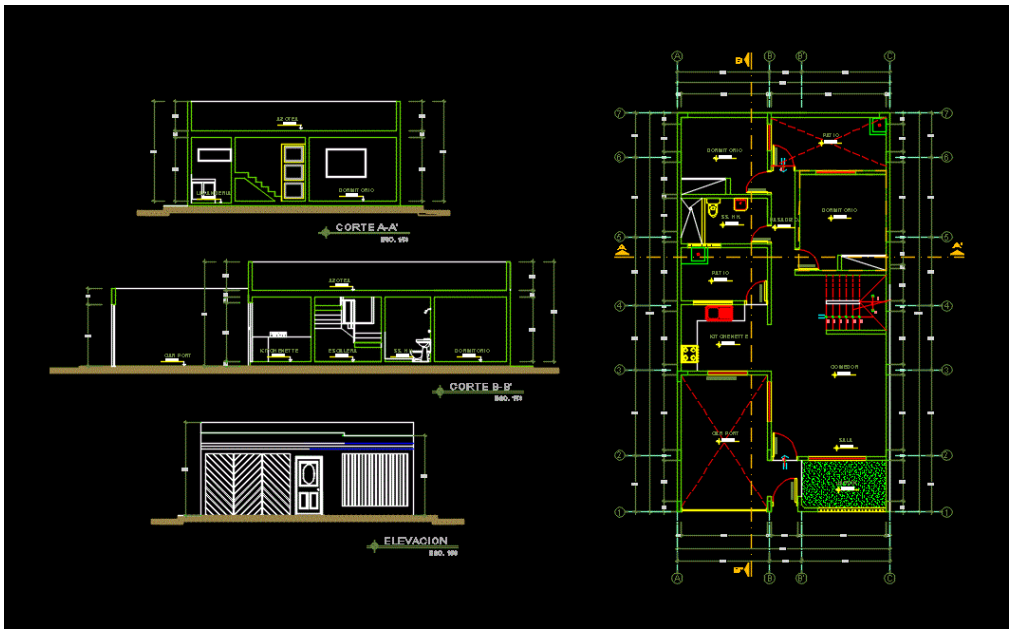


Figure 1.13 : fichier Auto Cad qui contient des dessins conventionnels 2D d'un bâtiment

[2] Cette section est élaborée en s'appuyant sur le livre "*BIM & MAQUETTE NUMERIQUE Pour l'architecture, le bâtiment et la construction"* de Nagy et al. (2015)

1.7.2. Modélisation 3D

L'objectif de la modélisation 3D est de fournir des pièces graphiques usuelles (plan, coupes, élévations) mais qui sont cohérentes et automatiquement déduites les unes des autres, en création initiale comme en modification.

Les moyens nécessaires à leurs réalisations sont des logiciels de maquette numérique BIM, tel que Revit, qui permettent de paramétrer correctement les entités constructives proposées par le logiciel lui-même comme : murs, poteaux, dalles, poutres, portes, fenêtres, escaliers, etc.

Contrairement à l'approche dessin, on dispose ici d'un seul et unique fichier, porteur de toutes les informations (et qui peut donc peser un poids important, jusqu'à plusieurs centaines de mégaoctets, voire plus). (Figure 1.14)

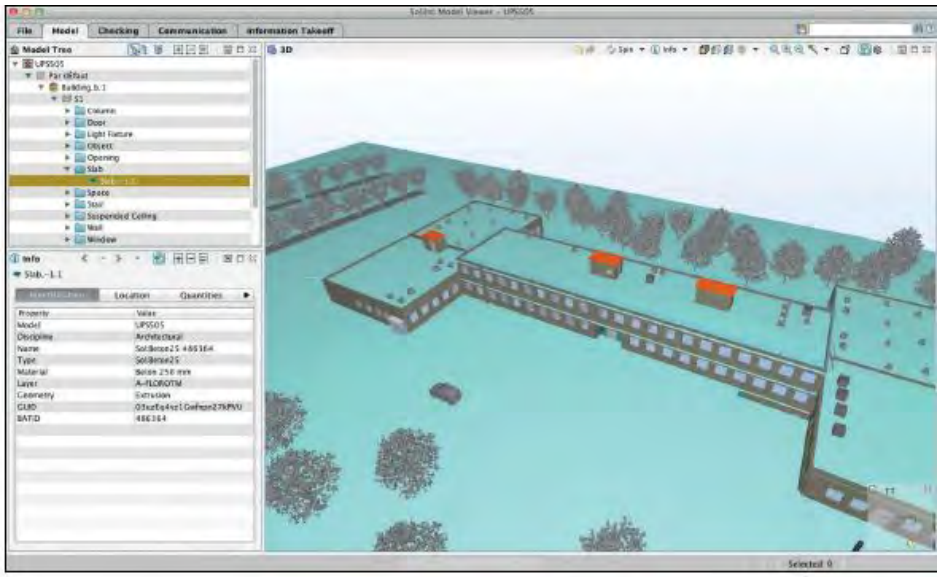


Figure 1.14 : Un fichier IFC d'un batiment visualisé dans le viewer Solibri.

Source : Nagy et al. (2015)

1.7.3. Maquette numérique de construction interopérable

L'objectif est de fournir une maquette correctement exploitable par les autres acteurs, en fonction de leurs outils et objectifs propres.

Pour les moyens, le plus souvent, il suffira d'enregistrer la maquette numérique dans un format d'échange tel IFC et la communiquer ainsi à ses partenaires qui, par la suite, disposeront du même bâtiment, organisé et construit de la même façon, avec les mêmes composants identifiables et exploitables (entités constructives, matériaux, sémantique, descriptions …).

Il faudra cependant un travail supplémentaire pour atteindre cet objectif de parfaite interopérabilité : la maquette devra être correcte dans sa géométrie, dans sa structure, dans les informations et descriptions que comportent ses éléments.

Les logiciels capables de communiquer en IFC sont (figure 1.15) :

- La majorité des logiciels utilisés par les architectes et les prestataires de numérisation : Archicad, Allplan, Revit, Bentley,
- Des logiciels utilisés par les bureaux d'études pour les calculs de structure, les quantitatifs, les calculs thermiques.
- Des logiciels de gestion de patrimoine
- Des outils de visualisation, d'analyse et de contrôle

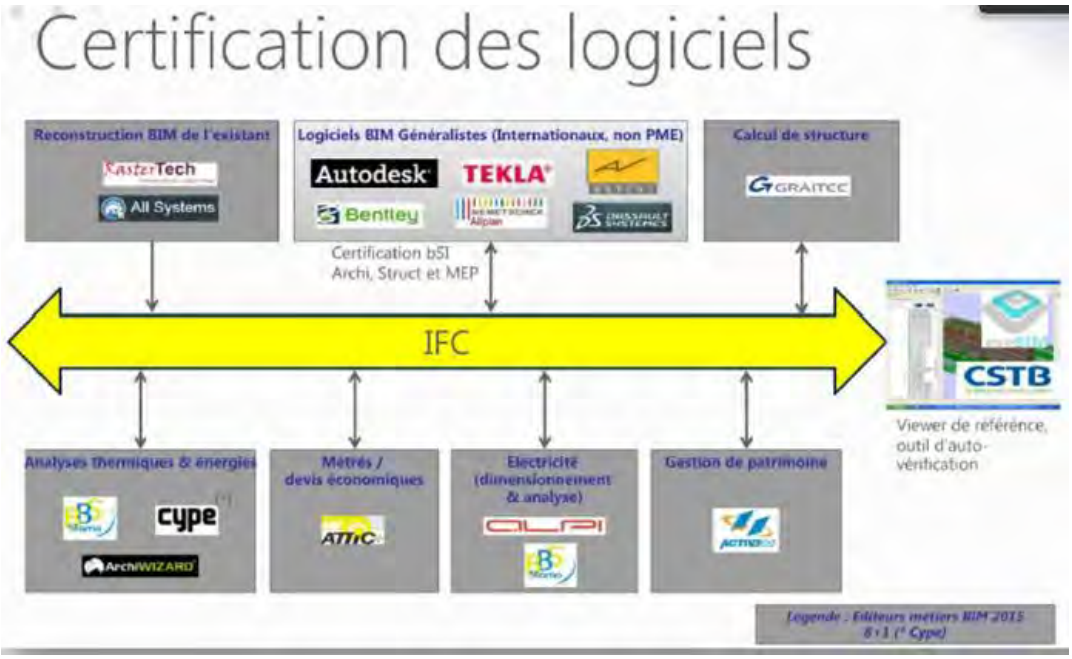


Figure 1.15 : Les logiciels capables de communiquer en IFC

Source : Nagy et al. (2015)

1.8. Les problèmes rencontrés lors de l'utilisation du BIM

Bien que l'amélioration du processus de conception, grâce à la technologie BIM, permettra de réduire les erreurs et les oublies commises dans le processus traditionnel, l'utilisation du BIM

entraînera également des changements importants dans les relations entre les acteurs du projet ainsi que les accords contractuels qui les liaient (Les clauses contractuelles traditionnelles sont adaptées aux pratiques sur papier.) selon Sacks et al., (2018), les principaux problèmes liés à l'utilisation du BIM sont:

- *Défis de la collaboration ;* Déterminer les méthodes qui seront utilisées pour permettre un partage adéquat des informations de modèle par les membres de l'équipe de projet.
- *Modifications légales de la propriété de la documentation et de la production* (qui est propriétaire des multiples des données de conception, de fabrication, d'analyse et de construction, qui les paie et qui est responsable de leur précision ?).
- *Changements dans la pratique et utilisation de l'information* ; utiliser un modèle de bâtiment partagé comme base de tous les processus de travail et de la collaboration.
- *Problèmes d'implémentation* ; Utilisation efficace du BIM exige que des modifications soient apportées à presque tous les aspects des activités d'une entreprise.

1.9. Adoption du BIM dans le monde

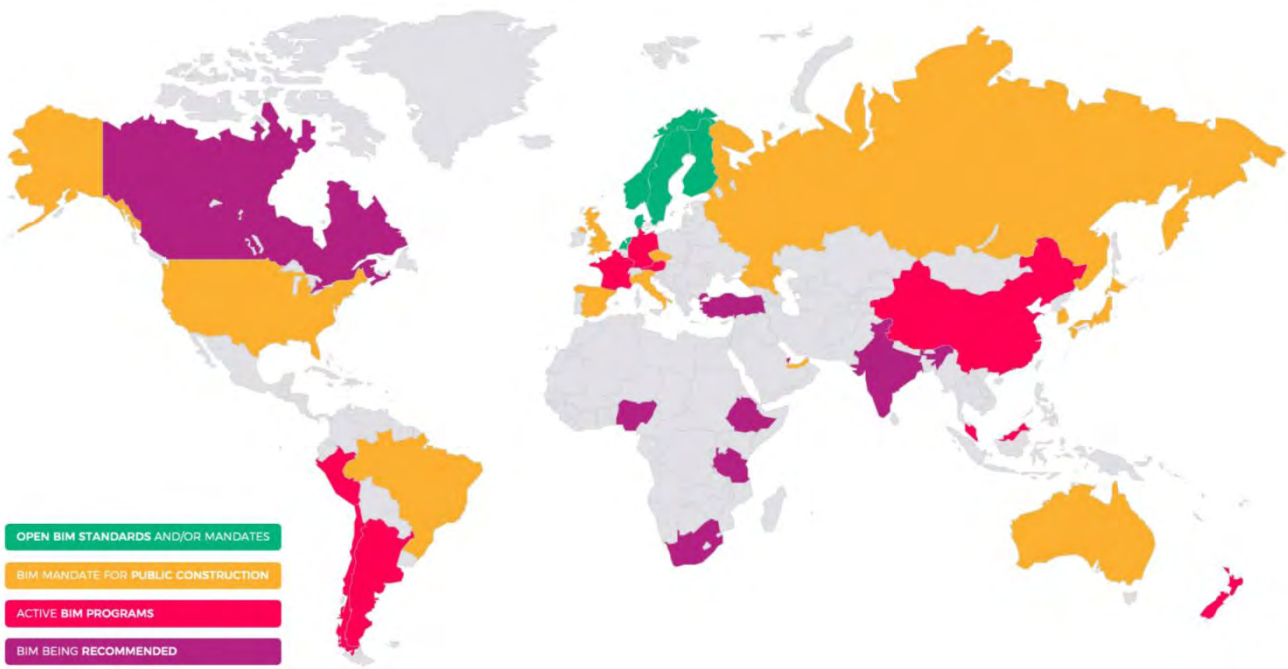


Figure 1.16 : Adoption du BIM dans le monde

Source : timetobeem.com

United kingdom

- Définition d'un plan d'action national en 2011
- Création du BIM Task Group
- L'utilisation de BIM niveau 2 est obligatoire sur tous les projets publics à partir d'avril 2016
- Définition d'une norme nationale : BSI PAS 1192
- Format d'échange COBie UK2012
- Digital Built Britain – vers BIM niveau 3

Pays Nordiques

- Finlande : Senate Properties impose OpenBIM (IFC/IFD) depuis 2007.
- COBIM2012 : Publication d'un guide complet d'implémentation par Building Smart Finlande
- Norvège : impose OpenBIM sur l'ensemble de projets depuis 2010
- Suède et Danemark : aujourd'hui imposé par la plupart de MOA (maîtrise d'ouvrage) publics

Allemagne

- Un peu en retard par rapport aux pays scandinaves et l'UK.
- BIM a une position importante dans la planification.
- Implémentation poussée par le gouvernement fédéral.
- Intérêt en croissance.
- Guide d'implémentation publié 2013.
- Les entreprises pensent que BIM permettra une meilleure maîtrise de coûts et une Réduction des durées des projets.

Etats Unis

- Plusieurs initiatives fédérales.
- Obligatoire depuis 2007 pour des bâtiments publics fédéraux.
- Standard : NBIMS (base IFC et COBie).

Singapour

- Depuis 2010 - possibilité de faire la demande de permis à construire entièrement sur maquette numérique.
- Plus de 200 projets ont été approuvés de cette manière.

France

- Mars 2014 : décision de rendre le BIM obligatoire progressivement sur les projets publics à partir de 2017.
- Mars 2014 : Publication du rapport “Un avatar numérique de l’ouvrage et du patrimoine au service du bâtiment durable” (Plan Bâtiment Durable, GT Gestion du patrimoine).
- Juin 2014 : lancement “Mission Numérique du Bâtiment”.
- Décembre 2014 : Publication du rapport ‘La Mission Numérique du Bâtiment’.
- Lancement d’un Plan Transition Numérique dans le Bâtiment (PTNB).
- Juin 2015 : Publication d’une feuille de route opérationnelle.
- Avril 2016 : Publication du guide « Convention BIM ».

Algérie

En Algérie, l'intérêt pour le BIM n'a émergé que récemment. Le premier événement important pour promouvoir le BIM, la première édition de CityCAD, a été organisé en 2015 pour discuter

de la nécessité de mettre en œuvre le BIM en Algérie. Depuis lors, plusieurs institutions ont été créées pour promouvoir le BIM à travers des programmes de formation destinés aux particuliers et aux entreprises.

En 2018, le BIM a été intégré comme module intitulé « Modélisation et Simulation BIM » dans le canevas de la formation des architectes de troisième année dans le système LMD (Licence-Master-Doctorat). En 2022, le master professionnel sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment (Master pro EEb) a, à son tour, intégré le BIM comme un module méthodologique intitulé « Initiation au BIM ».

En termes de règlementation, l'institut algérien de normalisation (IANOR) a intégré en 2022 la norme ISO 19650 dans le guide des normes algériennes sous la référence NA23243. Il s'agit de la norme ISO 19650-1 2018 : « *Organisation et numérisation des informations relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil, y compris modélisation des informations de la construction (BIM) - Gestion de l'information par la modélisation des informations de la construction - Partie 1 concepts et principes »*

Dans le cadre d'une étude de recherche, une enquête a été réalisée sur les barrières empêchant l'adoption du BIM en Algérie du point de vue des architectes (Tehami.M & Seddiki.M, 2023). Les résultats ont révélé que les barrières les plus significatives à la mise en œuvre du BIM étaient liées aux facteurs humains et politiques. De plus, des différences de niveaux de maturité BIM ont été observées entre les grandes et les petites organisations en Algérie. L'étude a souligné qu'à l'actuel niveau de maturité du BIM, sa mise en œuvre n'aurait pas lieu sans l'implication des autorités locales et des décideurs politiques, qui ont un impact significatif sur la promotion et l'accélération de l'adoption du BIM dans le pays.

Il est donc recommandé que les autorités algériennes imposent la mise en œuvre progressive du BIM pour les grands projets publics par le biais de la réglementation. De plus, le gouvernement devrait offrir des incitations pour accélérer les formations BIM dans les écoles privées et publiques. Cela encouragerait les grandes entreprises de construction à intégrer la formation BIM dans leurs programmes internes, ce qui favoriserait une plus grande adoption du BIM dans leurs projets.

Chapitre 2 : Open BIM

2.1. Introduction

2.2. Closed BIM

2.3. Open BIM

2.4. Les avantages et les inconvénients de l'openBIM® et du closed BIM

2.5. Les IFC et BCF

2.6. Consultations et exports d'IFC

Chapitre 2 : OPEN BIM

2.1. Introduction

Selon Patrick Riedo (Riedo, 2012-2019), l'Open BIM permet la collaboration et l'échange d'informations entre la majorité des logiciels BIM du fait de l'utilisation du format standard IFC. Il faut savoir qu'un BIM peut être défini en format propriétaire (closed BIM).

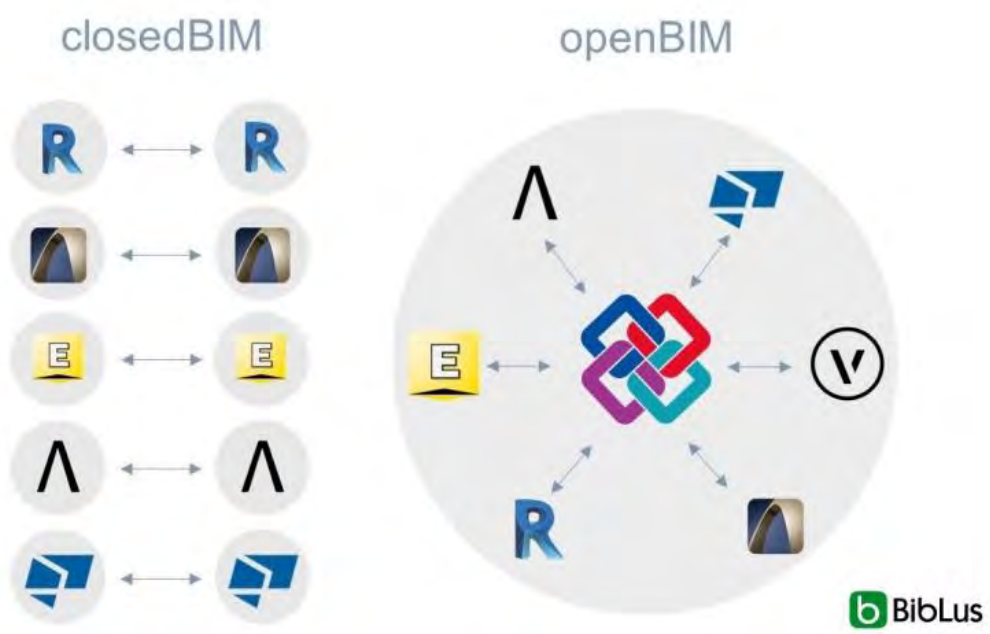


Figure 2.1 : Open and closed BIM

Source : biblus.accasoftware.com

2.2. Closed BIM :

Parfois appelé « BIM solitaire », est un environnement BIM dans lequel le même logiciel (et parfois aussi jusqu'à la même version de ce logiciel) est utilisé par toutes les parties prenantes clés du projet.

C'est l'approche basée en quelque sorte sur un **« éco-système »**. Le meilleur exemple c'est celui d'Iphone et Macbook.

Le closed BIM consiste à utiliser les applications compatibles BIM du même fournisseur, comme Autodesk par exemple.

Figure 2.2 : les différents logiciels de l'éditeur AUTODESK

Source : Autodesk

2.3. Open BIM :

L'Open BIM est basé sur une méthode et un flux de travail où tous les participants peuvent collaborer et échanger des informations sur le projet entre eux à l'aide de formats de fichiers neutres et non propriétaires, quels que soient les outils et applications BIM qu'ils utilisent.

Dans l'open BIM on parle de formats ouverts comme l'IFC, le BCF, le COBie, le CityGML, le gbXML, etc. est une spécification technique du domaine public, utilisée pour la description et le stockage de données numériques sans restriction légale d'utilisation.

Cela signifie que le format de données n'appartient pas à un seul éditeur (Autodesk©, ACCA, ArchiCAD©, Trimble ©, Nemetschek©, etc.), mais c'est un format public, c'est-à-dire que tout le monde peut y accéder et créer des produits ou des services en l'exploitant.

2.4. Big/Little BIM

En plus de l'open et closed BIM, la méthode de travail collaboratif BIM peut être divisée en deux approches : le Little BIM et le Big BIM.

- Little BIM : cette approche décrit l'utilisation limitée du BIM comme solution isolée au sein d'un bureau ou d'une entreprise de construction, généralement

dans une seule discipline de planification. Le plus souvent, un seul logiciel d'un fabricant est utilisé.

- Big BIM : cette variante désigne l'utilisation continue des modèles numériques de bâtiments à travers différents corps de métier et phases du cycle de vie du projet.

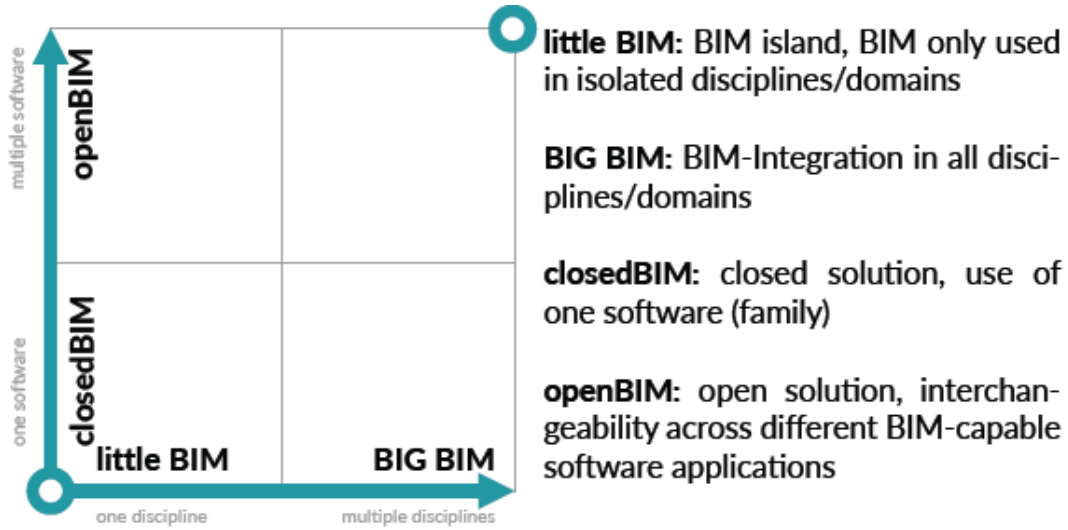


Figure 2.3: Open/Closed BIM et Big/Little BIM

Source: BIMCert- Handbook 2023

Les variantes du BIM peuvent être résumées en quatre possibilités distinctes d'utilisation, basées sur l'échange de données (open-closed BIM) et la collaboration entre disciplines (big - little BIM) :

- Little Closed BIM : L'utilisateur travaille sur une maquette numérique dans son domaine de spécialité avec un logiciel unique. Les données ne sont pas partagées avec d'autres disciplines.
- Big Closed BIM : Les différents acteurs du projet, provenant de plusieurs corps de métier, utilisent une maquette numérique commune. Un éditeur de logiciel commun est utilisé pour traiter les différentes disciplines, et l'échange de données se fait via une interface propriétaire.
- Little Open BIM : L'utilisateur travaille dans sa spécialité sur une maquette numérique au moyen de logiciels d'un seul ou différents éditeurs. Les données sont échangées via une interface ouverte.

- **Big Open BIM** : C'est la méthode BIM la plus large, où des utilisateurs issus de diverses disciplines collaborent sur une maquette numérique. Plusieurs solutions logicielles sont utilisées, et l'échange de données se fait via des interfaces neutres.

2.5. Les avantages et les inconvénients de l'openBIM® et du closed BIM

Les avantages de l'openBIM®	Les inconvénients du closed BIM
vous êtes libre d'utiliser tout logiciel pour produire, lire et gérer les données ;	vous êtes obligé d'utiliser forcément le logiciel que vous avez utilisé pour créer les données même pour les lire ou les gérer dans le temps ;
vous êtes réellement le propriétaire de vos données, car vous pouvez y accéder quel que soit le logiciel avec lequel vous les avez créées ;	vous n'êtes pas réellement propriétaire de vos données, car sans la licence d'utilisation du logiciel avec lequel vous les avez produites vous ne pouvez plus y accéder ;
vous pouvez changer de logiciel à tout moment et en choisir un meilleur ;	vous ne pouvez plus changer de logiciel même si vous en trouvez un meilleur ;
vous pouvez utiliser des logiciels spécifiques pour chaque besoin et toujours travailler sur un modèle de données commun ;	vous devez utiliser le même logiciel pour toutes les phases de votre travail, car vous ne pouvez pas agréger les données produites par différents logiciels utilisés pour différents aspects de votre travail.;
vous pouvez toujours accéder à vos données au fil du temps sans licence pour utiliser le logiciel avec lequel vous avez créé vos données ;	vous ne pouvez pas collaborer avec quiconque, mais uniquement avec ceux qui ont le même logiciel que vous;
vous pouvez créer des processus de travail sans utiliser de logiciel spécifique ;	vous ne pouvez pas librement analyser et vérifier vos données pour améliorer la qualité de votre travail, sauf si vous utilisez des

	applications spécifiques qui gèrent le format de vos données ;
vous pouvez collaborer avec quiconque, quel que soit le logiciel que vous utilisez ;	vous dépensez plus pour vos logiciels, car vous devez nécessairement utiliser ces logiciels même s'ils coûtent cher et sont désormais anciens.
vous avez toujours des données en format ouvert qui peuvent être lues et analysées par n'importe qui pour des vérifications croisées et une meilleure qualité du résultat ;	

Tableau 2.1 : Les avantages et les inconvénients de l'openBIM® et du closed BIM

2.6. Les IFC et BCF

2.6.1. Format IFC

Selon buildingSMART, les IFC (Industry Foundation Classes, ISO 16739) sont un format d'échange de données ouvert et non propriétaire, conçu pour faciliter le partage d'informations liées à un projet BIM, indépendamment des logiciels utilisés par les différents acteurs.

Ce format, également appelé "Information For Construction", permet de transmettre des données variées concernant le site, le bâtiment, les étages, les équipements, les fonctionnalités, ainsi que les composants et leurs interconnexions, jusqu'aux produits utilisés dans les ouvrages. L'essentiel réside dans la capacité des IFC à structurer, organiser et hiérarchiser ces informations, rendant leur consultation rapide et efficace.

Figure 2.4 : Logo format IFC

Source : buildingsmart.org

Figure 2.5 : Logo format BCF

Source : buildingsmart.org

2.6.2. Format BCF

Le BCF (BIM Collaboration Format) est un format standard, ouvert et interopérable, initialement développé par Tekla et Solibri, et désormais maintenu par buildingSMART International. Ce format favorise la collaboration en permettant l'échange d'annotations associées aux objets d'une maquette numérique.

Les interfaces pour rédiger des annotations BCF prennent la forme de formulaires simples, offrant une saisie intuitive des informations concernant le sujet de l'annotation et les parties impliquées. Elles permettent également de capturer le point de vue, le contexte, et les échanges associés à l'annotation.

Un fichier BCF est généré puis utilisé automatiquement par les outils métiers. Il compile toutes les informations relatives à un ou plusieurs commentaires portant sur la maquette numérique.

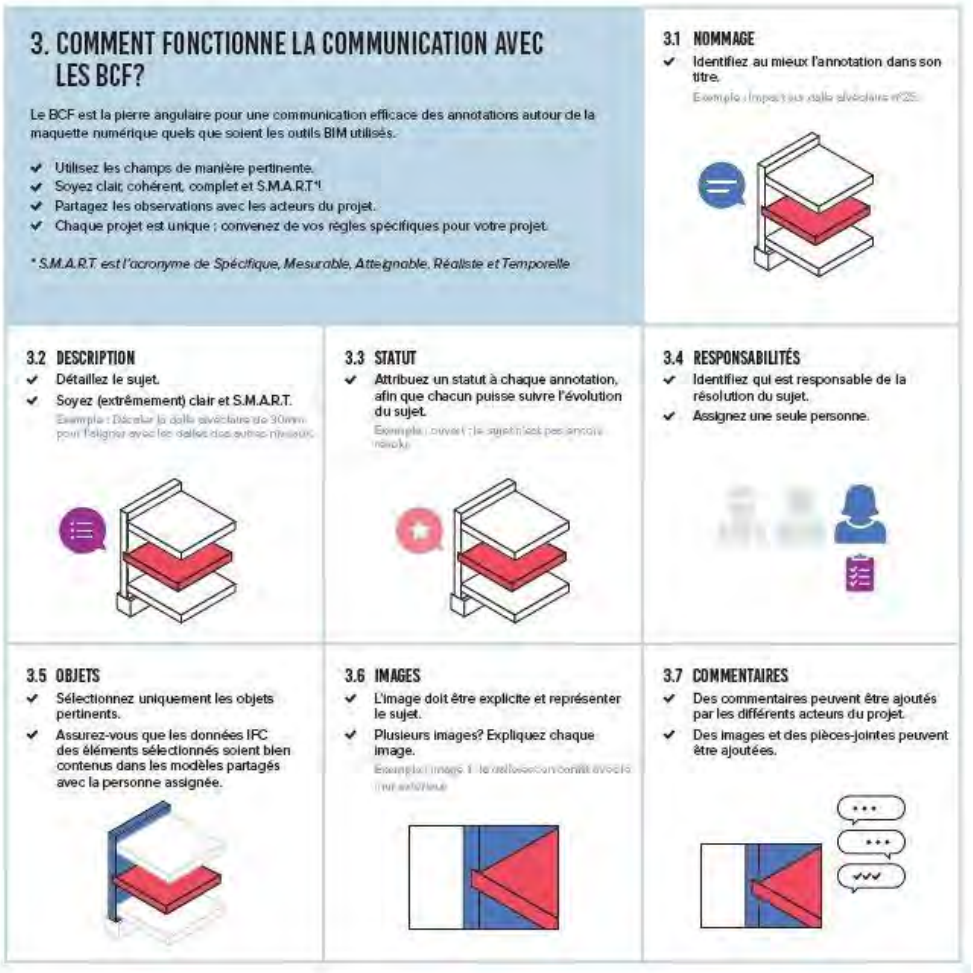


Figure 2.6 : comment fonctionne la communication avec les BCF

Source : buildingsmart.org

2.7. Consultations et exports d'IFC

Tout d'abord, il faut garder en tête qu'un export de maquette numérique au format IFC est réalisé en fonction de son destinataire, car le paramétrage d'export peut être radicalement différent entre deux acteurs. C'est ce qu'on appelle un MVD (Model View Definition), c'est-à-dire une certaine vision d'un même modèle.

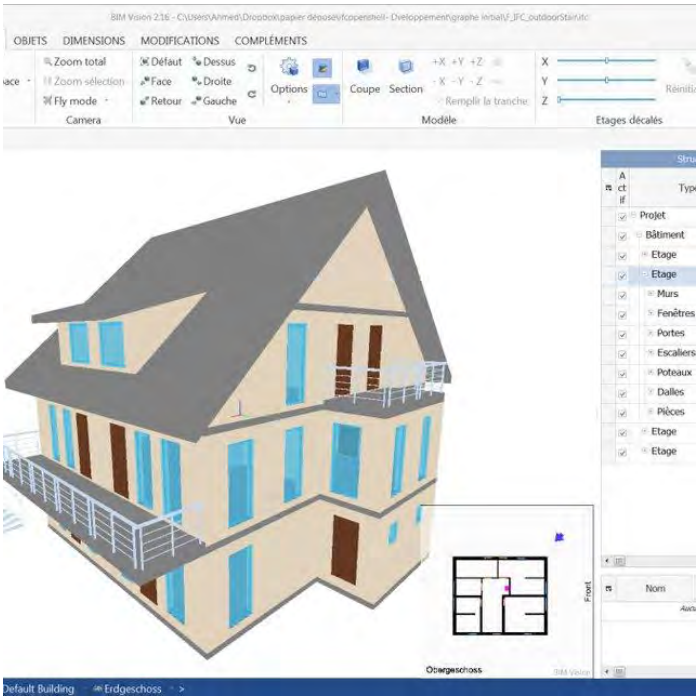


Figure 2.7 : consultation d'un IFC avec BIMvision

Source : Ahmed Hamieh. Planification automatique de chemins à l'intérieur de bâtiments basée sur un mod- èle BIM. Mécanique des structures

2.7.1. La structure d'un fichier IFC

Le format IFC permet de produire des fichiers comprenant :

- *Les informations géométriques* des différentes entités des composants « simples » du bâtiment (tels que les murs, les portes, les planchers, etc.) et toutes les données qui leur sont associées ;
- *Des informations alphanumériques* (propriétés, quantité, classification, etc.) qui spécifient les paramètres, les propriétés physiques, les informations pour la construction, les informations pour la maintenance, etc.

Plus précisément, selon buildingSMART, le schéma IFC est un modèle de données standardisé qui structure de manière logique :

- L'identité et la sémantique (nom, identifiant unique lisible par machine, type ou fonction de l'objet) ;
- Les caractéristiques ou attributs (comme le matériau, la couleur et les propriétés thermiques) ;
- Les relations (emplacements, connexions et propriété) ;

...des objets (comme les colonnes ou les dalles), des concepts abstraits (performances, coûts), des processus (installation, exploitation) et des personnes (propriétaires, concepteurs, entrepreneurs, fournisseurs, etc.).

La spécification du schéma peut décrire comment une installation ou un bâtiment est utilisé, construit et exploité. Les IFC permettent de définir des composants physiques des bâtiments, des produits manufacturés, des systèmes mécaniques et électriques, ainsi que des modèles abstraits comme l'analyse structurelle, l'analyse énergétique, les estimations de coûts, les plannings de travail, et bien plus encore.

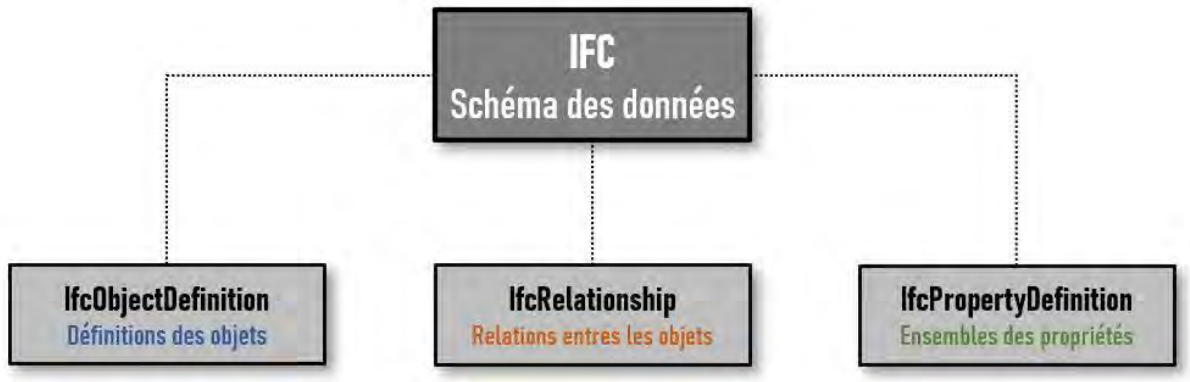


Figure 2.8 : Diagramme de composition du schéma de données de l'IFC

Source : Fichier IFC - ACCA software - Whitepaper

Un sous-ensemble du schéma de données est appelé Model View Definition (MVD).

2.7.2. Le Model View Definition MVD

Les MVD (Model View Definitions) sont des sous-ensembles du schéma IFC définis par buildingSMART International, conçus pour regrouper des informations spécifiques adaptées à des flux de travail ou des usages particuliers. Ces "vues filtrées" sont précieuses, car elles simplifient l'échange de données en limitant le partage aux seules informations pertinentes,

tout en évitant les notions inutiles ou redondantes, et ce, conformément à des procédures standardisées.

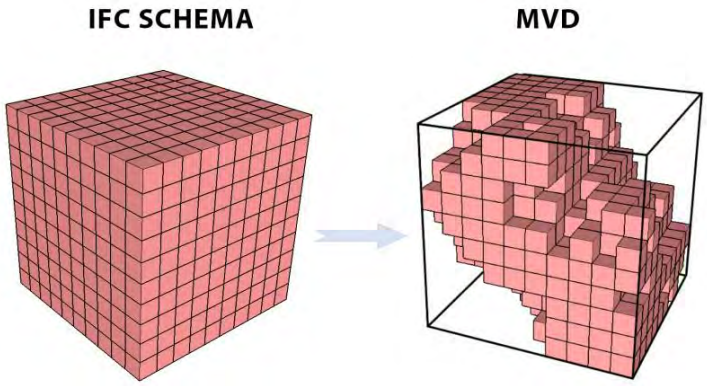


Figure 2.9 : IFC-Coordination-View-IFC-Schema-MVD

Source : Baldwin. M, (2019)

Le MVD (Model View Definition) est, en essence, une sélection ciblée de classes issues du schéma IFC complet, destinée à faciliter l'échange d'informations pour un cas spécifique. Son rôle se concentre sur les données plutôt que sur les applications ou produits des éditeurs de logiciels. Ce concept répond à la nécessité d'éviter les pertes d'informations lors des échanges entre les nombreux logiciels utilisés à l'échelle internationale.

IFC SCHÉMA	MVD	STATUT DE LA PUBLICATION
IFC2X3	Coordination View	Publié
IFC2X3	Space Boundary Addon View	Publié
IFC2X3	Structural Analysis View	Publié
IFC4	Reference View	Publié
IFC4	Design Transfer View	Publié
IFC4	Quantity Takeoff View	NON Publié
IFC4	Energy Analysis View	NON Publié
IFC4	Product Library View	NON Publié
IFC4	Construction Operations Building Information Exchange	NON Publié

Tableau 2.2 Une liste des différents MVD qui se réfèrent à différents domaines de construction et à différentes versions de l'IFC

Parmi les différents MVD existants, Nous vous mentionnons le suivant :

L'IFC2x3 Coordination View 2.0

Le MVD officiel de buildingSMART International a été conçu pour faciliter la coordination entre les principales disciplines intervenant lors de la phase de projet, à savoir :

- Architecture,
- Calcul des structures,
- MEP (mécanique, électricité, plomberie – installations techniques).

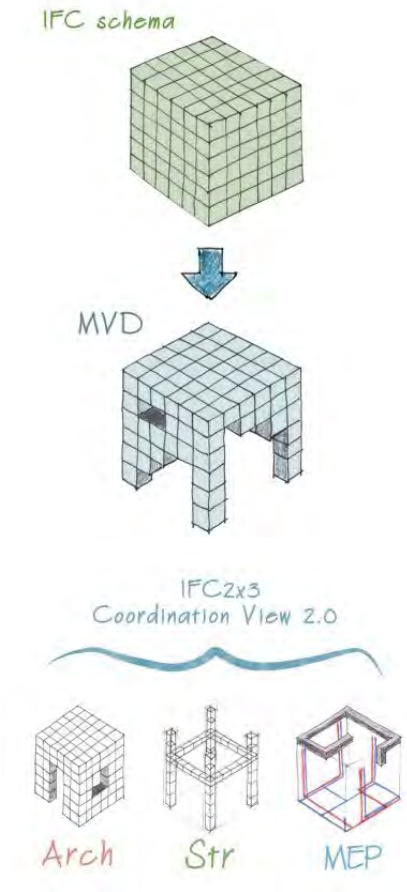


Figure 2.10 : IFC-Coordination-View-IFC2x3-inphografie

Source : biblus.accasoftware.com

« IFC2x3 Coordination View 2.0 » signifie :

- « IFC2x3 » : cela fait référence à la version du schéma IFC (Industry Foundation Classes), en l'occurrence la version 2x3, qui est une norme largement utilisée pour les échanges de données dans le BIM.
- « Coordination View 2.0 » : cela fait référence à un MVD (Model View Definition), spécifiquement conçu pour la coordination entre les différentes disciplines. Il définit un

sous-ensemble du schéma IFC, en sélectionnant uniquement les classes de données nécessaires à la coordination, telles que celles relatives à l'architecture, aux structures, et aux systèmes MEP (mécanique, électricité, plomberie). Ce MVD est utilisé pour garantir que toutes les informations essentielles à la coordination de ces disciplines sont échangées de manière claire et sans ambiguïté.

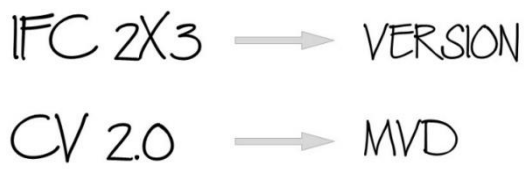


Figure 2.11 : IFC-Coordination-View-version-MVD

Source : biblus.accasoftware.com

2.7.3. Un exemple de fédération des modèles : d'Architecture, de Structure et de CVCSE (MEP)

La fédération de modèles fait référence à l'intégration (ou superposition) de plusieurs modèles BIM, généralement issus de disciplines différentes (architecture, structure, MEP, etc.). Son objectif principal est de vérifier la cohérence des modèles, d'identifier d'éventuelles interférences (comme les collisions entre éléments), et d'assurer une meilleure coordination entre les parties prenantes d'un projet.

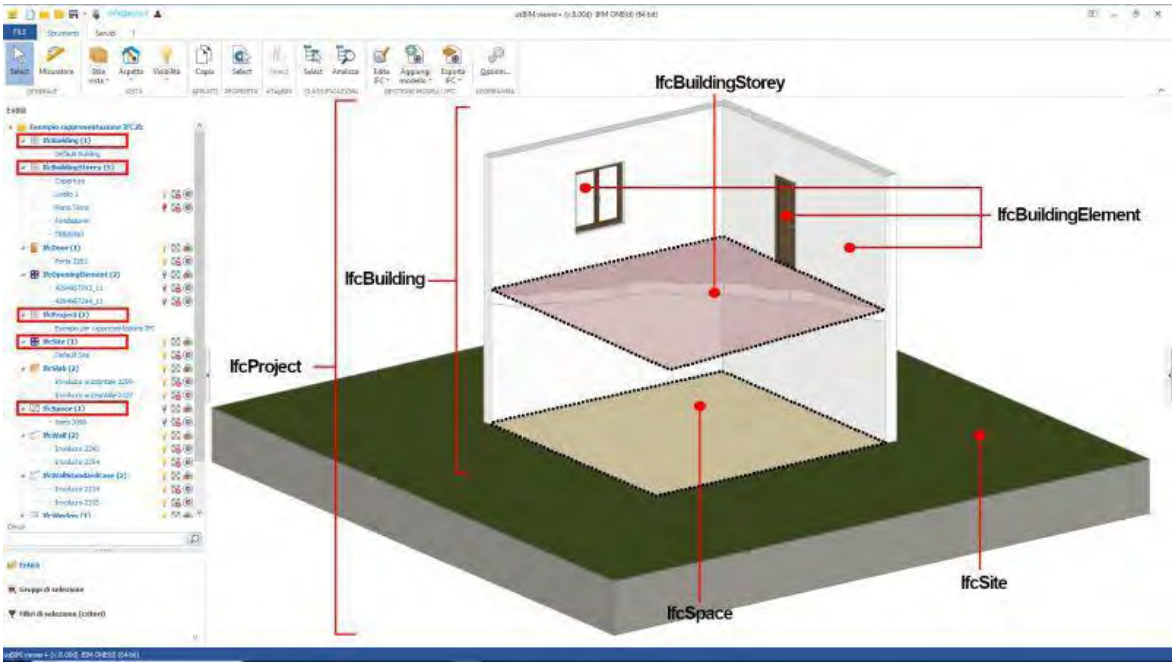


Figure 2.12 : IFC-Coordinatio-View-identification-classes

Source : biblus.accasoftware.com

Lorsqu'un fichier IFC est ouvert avec une visionneuse, on peut explorer l'arborescence IFC, qui organise les informations selon une hiérarchie claire :

- IfcProject : définit le contexte global de l'échange ou du partage d'informations.
- IfcSite : représente le site du projet.
- IfcBuilding : identifie le ou les bâtiments présents sur le site.
- IfcBuildingStorey : correspond aux niveaux ou étages qui composent un bâtiment.
- IfcSpace : représente les différentes pièces appartenant aux étages du bâtiment.
- IfcBuildingElement : désigne les éléments de construction formant le bâtiment, généralement associés à un étage spécifique.

Cette hiérarchie permet une navigation structurée et une compréhension claire des différentes composantes du projet.

Chapitre 03 : Notions importantes BIM

3.1. Introduction

3.2. Les Niveaux de maturité BIM

3.3. Les niveaux de maturité dans la ISO 19650

3.4. Les dimensions du BIM

3.5. Niveau de développement LOD (level of development)

3.6. Livrables BIM

Chapitre 3 : Notions importantes BIM

3.1. Introduction

Selon Sacks et al. (2018), tous les systèmes de CAO génèrent des fichiers numériques qui se composent principalement de vecteurs, de types de lignes associés et d'identifications de couches. Au fur et à mesure du développement de ces systèmes, des informations supplémentaires ont été ajoutées pour permettre l'utilisation de blocs de données et de texte associé. À mesure que les systèmes de CAO devenaient plus intelligents et que de plus en plus d'utilisateurs souhaitaient partager des données associées à une conception donnée, l'attention s'est déplacée des dessins et des images 3D envers les données. Un modèle de bâtiment produit par un outil BIM peut prendre en charge plusieurs vues différentes des données contenues dans un jeu de dessins, y compris 2D et 3D. Un modèle de bâtiment peut être décrit par son contenu (comme objet) ou par ses capacités (types d'information prises en charge).

3.2. Les niveaux de maturité BIM

Ce qu'on appelle les *« Niveaux de maturité »* pour l'application des technologies de l'information dans la construction est le degré de collaboration dans le processus ainsi que les niveaux de sophistication d'utilisation des outils individuels (Sacks et al., 2018). De ce point de vue, le BIM est considéré comme une série d'étapes distinctes dans un parcours qui a commencé avec le dessin assisté par ordinateur et fait entrer l'industrie dans l'ère numérique (2018). Selon Arayici (2015), le but de ces niveaux est de classer le travail technique et collaboratif pour fournir une compréhension claire et concise du BIM pour la chaîne d'approvisionnement et le client. En outre, ils abordent un certain nombre de normes et de spécifications techniques dans le but d'établir un langage commun et un guide/règle pour une utilisation et une adoption cohérente (Arayici, 2015).

Depuis que le groupe de travail BIM du gouvernement britannique a adopté le concept de « Niveaux BIM », le tableau suivant et les quatre niveaux qu'il définit (niveau 0 à niveau 3) sont devenus une définition largement adoptée des critères pour qu'un projet soit jugé conforme au BIM (Sacks et al., 2018).

Dans ce qui suit, les numéros des normes BS font référence à la British Standards Institution et la description de chaque niveau correspond à leur définition (BS, 2017).

3.2.1. BIM Niveau 0

Ce niveau est défini comme CAO non gérée ou non structurée. Il s'agit probablement de 2D, les informations étant partagées par des dessins papier traditionnels ou, dans certains cas, numériquement via PDF. Ce niveau reflète le style de travail traditionnel de l'industrie avec des dessins souvent produits sous forme de DWG et DGN ou DXF. La majorité de l'industrie est déjà bien en avance sur cela maintenant.

3.2.2. BIM Niveau 1

Souvent référé comme le BIM isolé (lonely BIM). C'est le niveau auquel de nombreuses entreprises opèrent actuellement. Cela comprend généralement un mélange de CAO 3D pour le travail de conception et de 2D pour la rédaction de la documentation d'approbation réglementaire et des informations de production. Les normes de CAO sont gérées conformément à la norme BS 1192 : 2007 et le partage électronique des données est effectué à partir d'un environnement de données commun (CDE). Cette norme doit régir entre autres la numérotation des plans, la géolocalisation, la présentation, le système d'approbation et de diffusion des plans, etc. à ce niveau, les modèles ne sont pas partagés entre les membres de l'équipe de projet. Ces modèles ne créent pas d'informations utiles pouvant être partagées avec d'autres membres de l'équipe, par exemple, les données commerciales sont gérées par des progiciels autonomes de gestion des finances et des coûts sans intégration.

De ce fait, le niveau de maturité BIM 1 implique :

- L’utilisation de technologies CAO 2D et 3D
- Un Environnement Commun de Données (CDE),
- L’archive en ligne partagée dans laquelle toutes les données du projet sont collectées et gérées.

Les exigences du niveau de maturité BIM 1

Il faut tenir compte de certaines exigences de base qui prévoient :

- Définir les rôles et les responsabilités ;

- Adopter des conventions de dénomination et d'archivage des fichiers ;
- Spécifier et convenir le système de quotas et de coordination spatiale du projet ;
- Utiliser un « Environnement Commun de Données » (CDE) pour la gestion partagée des documents et des informations entre tous les membres de l'équipe de projet ;
- Convenir d'une hiérarchie appropriée des informations pour structurer l'CDE.

Ces exigences sont également définies et détaillées dans deux standards britanniques : BS 1192 et PAS 1192 (Publicly Available Specifications).

Plus précisément, le niveau BIM 1 est entièrement défini par la BS 1192 qui comprend les exigences suivantes :

- BS 7000-4 – Gestion de la conception dans la construction ;
- BS 8541-2 – Recommandations sur les symboles 2D à utiliser pour les éléments de construction en vue d'une utilisation dans le BIM ;
- ISO 12006-2 – Construction immobilière — Organisation de l'information des travaux de construction — Partie 2 : Cadre pour les classifications ;
- BS EN ISO 13567-1 – Organisation et dénomination des couches de CAO — Partie 1 : Vue d'ensemble et principes ;
- BS EN ISO 13567-2 Documentation technique de produits — Organisation et dénomination des couches de CAO — Partie 2 : Concepts, format et codes utilisés dans la documentation pour la construction.

3.2.3. BIM Niveau 2

Cela se distingue par le travail collaboratif. Cependant, toutes les parties utilisent leurs propres modèles 3D au lieu de travailler sur un seul modèle partagé. Alors où est la collaboration ? La collaboration se présente dans la manière dont les informations sont échangées entre les différentes parties, ce qui constitue l'aspect crucial de ce niveau. Les informations de conception sont partagées via un format de fichier commun, qui permet à toute organisation

de combiner ces données avec les siennes afin de créer un modèle BIM unique ou « fédéré ». C'est avec ce modèle unique que seront effectuées les détections de conflits par exemple. Par conséquent, tout logiciel de CAO utilisé par chaque partie doit être capable d'exporter vers un format de fichier commun tel que IFC (Industry Foundation Class) ou COBie (Construction Operations Building Information Exchange). L'approche de niveau 2 peut utiliser une simulation de planification de construction 4D et des estimations de coûts 5D, etc. C'est la méthode de travail qui a été fixée comme objectif minimum par le gouvernement britannique pour tous les travaux du secteur public à partir de 2016.

Le BIM niveau 2 contient les éléments suivants :

- Un modèle graphique ou maquette numérique 3D créé avec un logiciel BIM tel Revit, ArchiCAD, Tekla, etc ou un fichier format IFC.
- Des données non-graphiques incluant par exemple des informations importantes pour l'utilisation et la maintenance de l'ouvrage. Au Royaume-Uni le format COBie-UK-2012 a été retenu pour ce type d'information.
- De la documentation comme des rapports ou des dessins 2D. Le format PDF est habituellement recommandé pour cette documentation.
-

En plus des éléments ci-dessus, le niveau 2 impose les exigences suivantes :

- Structure des données (standards)
- Définition des processus
- Définition et contrôle des échanges de données
- Un Environnement Commun de Données CDE

3.2.4. BIM Niveau 3

Ce niveau est décrit comme iBIM (BIM intégré), il représente une collaboration totale entre toutes les disciplines grâce à l'utilisation d'un modèle de projet unique et partagé qui est conservé dans un référentiel centralisé (normalement une base de données d'objets dans un stockage en nuage). Toutes les parties peuvent accéder à ce même modèle et le modifier, et

l'avantage est qu'il supprime la dernière couche de risque d'informations contradictoires. C'est ce qu'on appelle « Open BIM ».

Ce niveau de mise en œuvre du BIM prend en compte un processus de cycle de vie du bâtiment rationalisé et entièrement intégré activé via IFC/IFD (Industry Foundation Classes/International Framework Dictionary) et collaboration via des technologies de serveur modèle. En d'autres termes, le BIM de niveau 3 utilise potentiellement des processus d'ingénierie simultanés.

Le BIM Niveau 3 est actuellement testé sur de grands projets par une minorité de firmes. Ce BIM niveau 3 n'est pas à proprement parlé disponible. La technologie actuelle ne permet pas encore l'accessibilité du Niveau 3 à tous. Les normes et les contrats ne sont pas disponibles et c'est pour cela que les gouvernements se sont arrêtés au Niveau 2 dans leurs exigences.

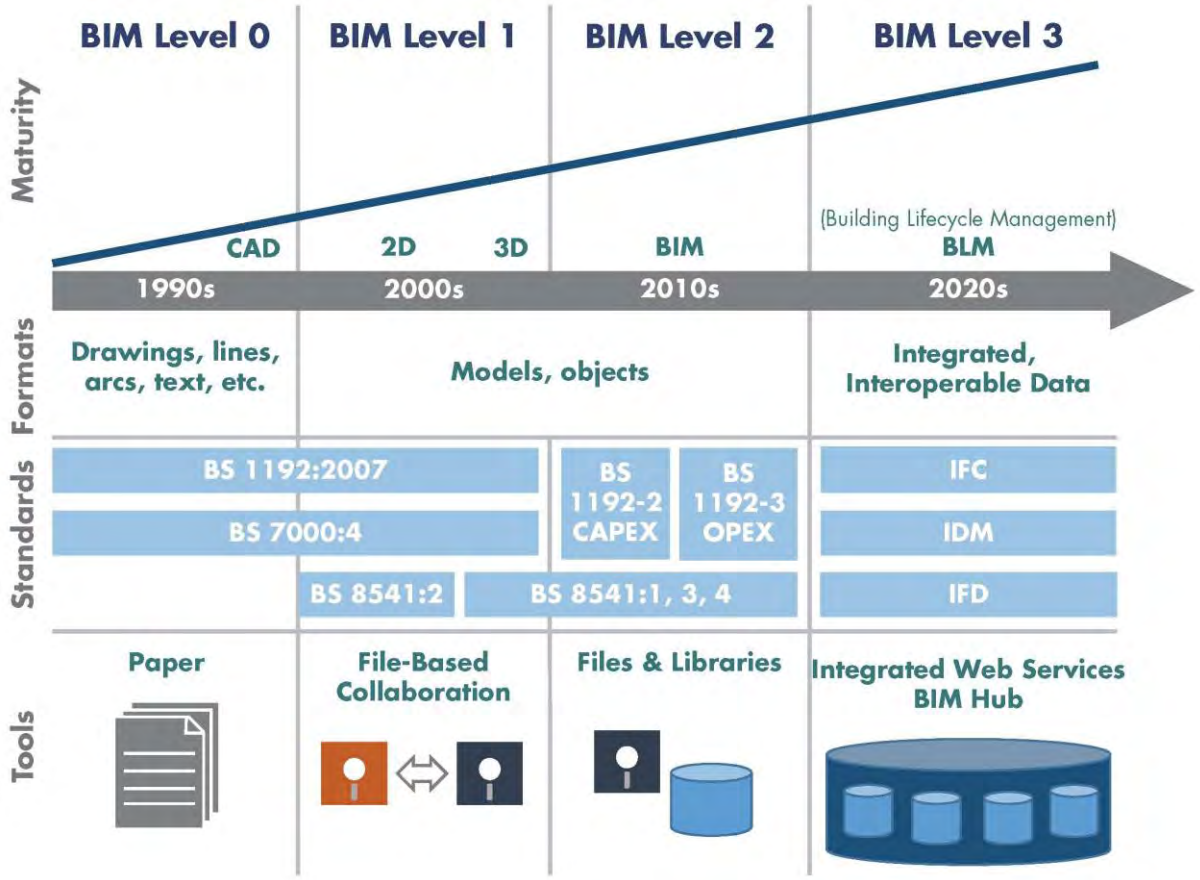


Figure 3.1 : Le modèle de maturité BIM par Mark Bew et Mervyn Richards

Reproduit sur la base de PAS 1192-2:2013 (BSI, 2013) et BS 1192-4:2014 (BSI, 2014a).

Source : Sacks et al. (2018)

3.3. Les niveaux de maturité dans la ISO 19650

Avec la publication de la norme ISO 19650 (partie 1 et 2) fin 2018, de nouveaux scénarios réglementaires ont été définis au niveau international, européen et national. Actuellement, la norme constitue la référence principale pour toutes les autres déjà existantes.

Dans ce cas, la ISO 19650-1 :2018 met à jour le concept de Maturité du BIM, avec une schématisation similaire au triangle de Bew-Richards.

La norme identifie, en bonne substance, 3 stades de maturité BIM

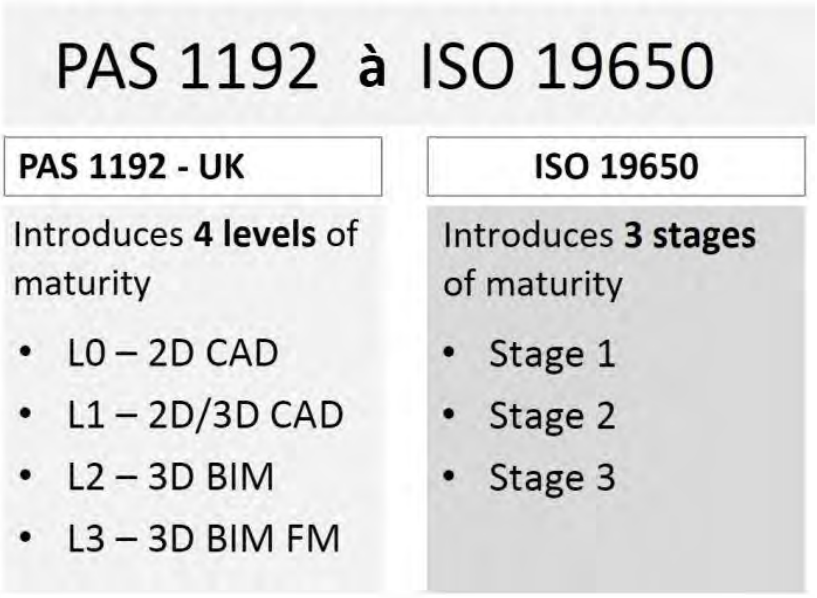


Tableau 3.1 : Le niveau de maturité BIM entre PAS 1192 et ISO 19650

Source : biblus.accasoftware.com

BIM STAGE 1 dans lequel les dessins CAO 2D et les modèles 3D BIM (modèles d'information) sont combinés, répondant aux exigences réglementaires nationales, pour la gestion du projet de l'ouvrage

BIM STAGE 2 dans lequel les modèles d'information de chaque discipline (modèle des structures, architectural, des fluides, etc.), fédérés et conformes aux normes internationales ISO 19650, garantissent la gestion intégrée du projet de l'ouvrage

BIM STAGE 3 dans lequel les systèmes de bases de données structurées de modèles d'information, immédiatement interrogeables, permettent d'imposer l'OPEN BIM comme système de gestion du projet de l'ouvrage et de sa mise en service ultérieure. Des activités de gestion du bien immobilier sont envisagées c'est à dire un système d'objets réels et/ou virtuels d'un bâtiment.

La matrice récapitulative proposée par la ISO 19650 présente un double ordre de lecture.

On peut la lire :

- De gauche à droite pour suivre la croissance des bénéfices tirés de la numérisation des processus
- Du bas vers le haut pour suivre la croissance des bénéfices tirés de la collaboration entre professionnels.

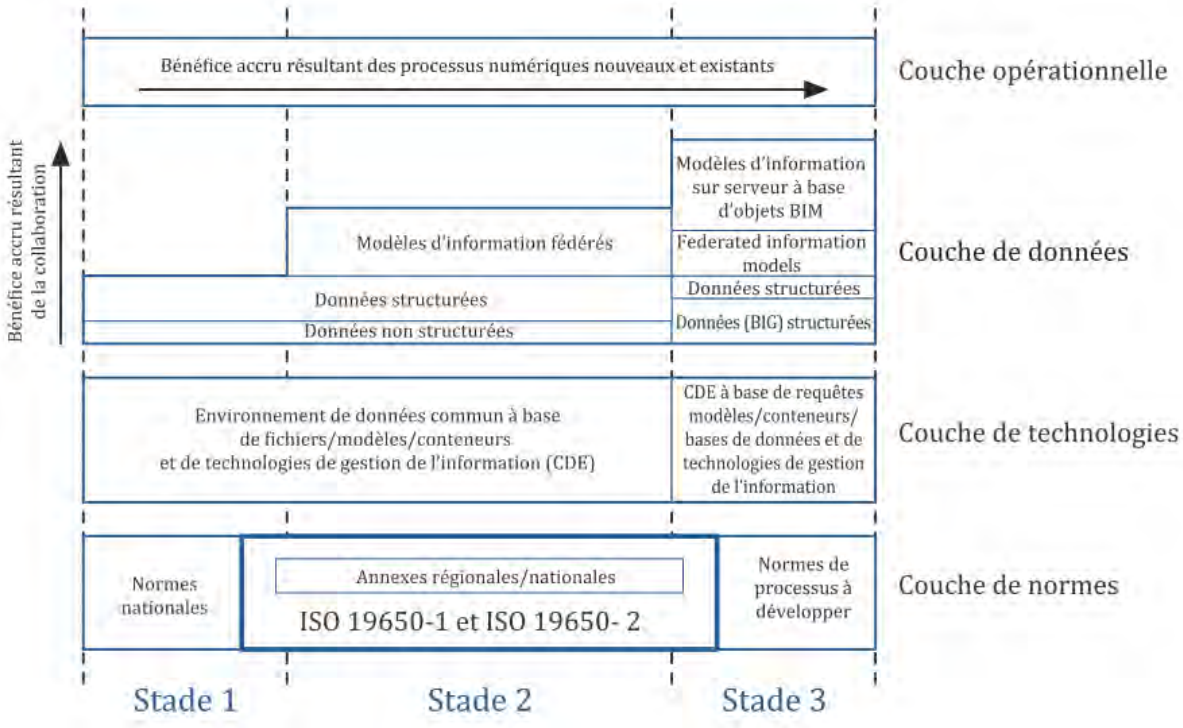


Figure 3.2 : Niveaux de maturité du BIM selon ISO 19650 – Schéma matriciel

Source : objectif-bim.com

3.4. Les dimensions du BIM

Selon (Koutamanis, 2020), aux débuts du BIM, on se vantait de ses capacités 3D afin de suggérer une supériorité sur la CAO. Ce dernier a été présenté à tort comme étant simplement la 2D, simplement parce qu'il était principalement utilisé pour la production de dessins conventionnels en 2D, comme les plans d'étage, les coupes et les élévations. Cependant, le BIM est allé au-delà de la 3D et est devenu nD : le temps a été ajouté comme quatrième dimension 4D et le coût comme cinquième 5D (Ding, Zhou, & Akinci, 2014; Mesároš, Smetanková, & Mandičák, 2019).

Au-delà de la cinquième dimension, il semble y avoir un manque de consensus (Charef, Alaka, & Emmitt, 2018). La durabilité, le cycle de vie du projet, la sécurité, l'énergie, les dossiers de construction (y compris les informations sur la qualité, la santé et la sécurité et les contrats), les achats, la gestion des installations ont tous été appelés la sixième dimension du BIM (Mayouf, Gerges, Cox, & Technology, 2019; Mesároš et al., 2019). La durabilité et la gestion des installations sont les candidats forts pour la septième dimension (GhaffarianHoseini et al., 2017), tandis que certaines sources incluent même une huitième dimension, par ex. prévention des accidents (Kamardeen, 2010).

Selon Mesároš et al. (2019), Le modèle BIM est plus qu'un modèle 3D. Le BIM représente un environnement de données commun. L'environnement de données commun peut être divisé en informations graphiques et non graphiques. 7 dimensions établies existent selon les principes du BIM, qui sont :

- La 3D montre des données graphiques. C'est la dimension la plus connue, car elle est liée à la partie « visible » d'une maquette BIM.

- Le BIM 4D est une modélisation en quatre dimensions des informations sur les bâtiments et il est utilisé pour toutes les actions liées à la planification des chantiers de construction. Il est possible de visualiser et de contrôler le processus d'action tout au long de la durée de vie du projet. Les entrepreneurs et les producteurs peuvent optimiser leurs activités, toutes les livraisons, le stockage, etc.

- La 5D est utilisée pour le suivi budgétaire et l'analyse des coûts. La création du budget du bâtiment est l'une des parties les plus importantes du cycle de vie du projet. La tâche principale est de spécifier exactement le coût des travaux de construction, y compris le bénéfice. Il est difficile de préciser les coûts et le montant des bénéfices dans le budget de construction du point de vue de la qualité des documents, mais cela dépend aussi de la méthode de calcul.

- La dimension BIM 6D est utilisée pour revoir l'efficacité énergétique pendant la phase de projet et d'exploitation. Une collecte efficace des données permet de mieux comprendre les performances du bâtiment et de définir une stratégie axée sur l'optimisation de la consommation énergétique du bâtiment.

- La dimension 7D est utilisée pour collecter des informations pertinentes sur l'état de fonctionnement et de maintenance du bâtiment et sur les appareils pendant leur durée de vie. 7D est principalement un modèle de données, destiné à l'administration et à la maintenance des bâtiments.

En plus des 7 dimensions standards, il y a un débat ouvert sur les trois « nouvelles dimensions du BIM » :

- La dimension 8D : Sécurité lors de la conception et de la construction
- La dimension 9D : Construction allégée
- La dimension 10D : Industrialisation de la construction.

Figure 3.3 : Dimensions du BIM

Source : biblus.accasoftware.com

3.4.1. BIM 4D

Le BIM 4D consiste à intégrer la dimension temporelle à un modèle BIM, en reliant dynamiquement les activités de construction et leurs horaires au modèle numérique de l'ouvrage. Cette approche permet d'optimiser la planification en détectant les conflits spatio-temporels et en anticipant les problèmes potentiels. Contrairement aux méthodes traditionnelles, le BIM 4D offre la possibilité d'effectuer des mises à jour en temps réel du programme de construction, grâce à des connexions intelligentes et dynamiques avec le modèle BIM, améliorant ainsi la gestion des projets.

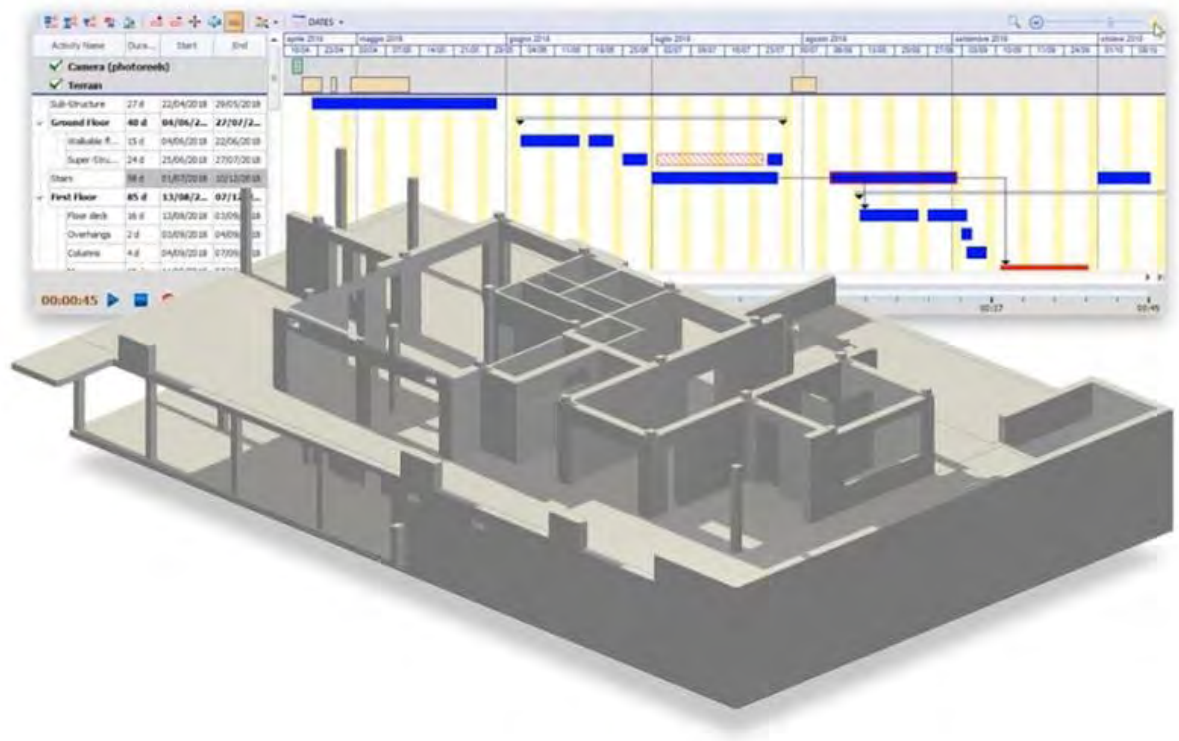


Figure 3.4 : Modélisation BIM 4D avec un diagramme de Gantt issue du logiciel Edificius

Source : biblus.accasoftware.com

Voici cinq avantages du BIM 4D qui transforment les méthodes de travail dans le secteur AEC :

- **Planification et programmation** : Les parties prenantes bénéficient d'une vue d'ensemble du projet et du chantier dès les premières étapes, facilitant une organisation optimale.
- **Mise à jour en temps réel** : La visualisation en temps réel de l'avancement via les maquettes BIM 4D améliore la communication, la rendant plus claire et efficace.

- **Suivi de projet** : L'animation des phases de construction offre une représentation chronologique détaillée, comme un film, rendant chaque étape plus compréhensible.
- **Prévention et résolution des conflits** : Les modifications ou ajouts sont facilement traçables, ce qui simplifie l'identification des responsables et réduit les erreurs.
- **Sécurité sur le chantier** : Les animations permettent de surveiller la progression des travaux, contribuant à une meilleure gestion de la sécurité.

3.4.2. BIM 5D

Le BIM 5D intègre l'estimation des coûts directement dans le modèle d'information du bâtiment. Il établit des connexions intelligentes entre la maquette numérique 3D (définissant la géométrie du bâtiment) et les données relatives aux coûts de construction. Cela donne lieu à un modèle d'information en cinq dimensions (5D), incluant les attributs nécessaires pour estimer de manière globale le coût total du projet.

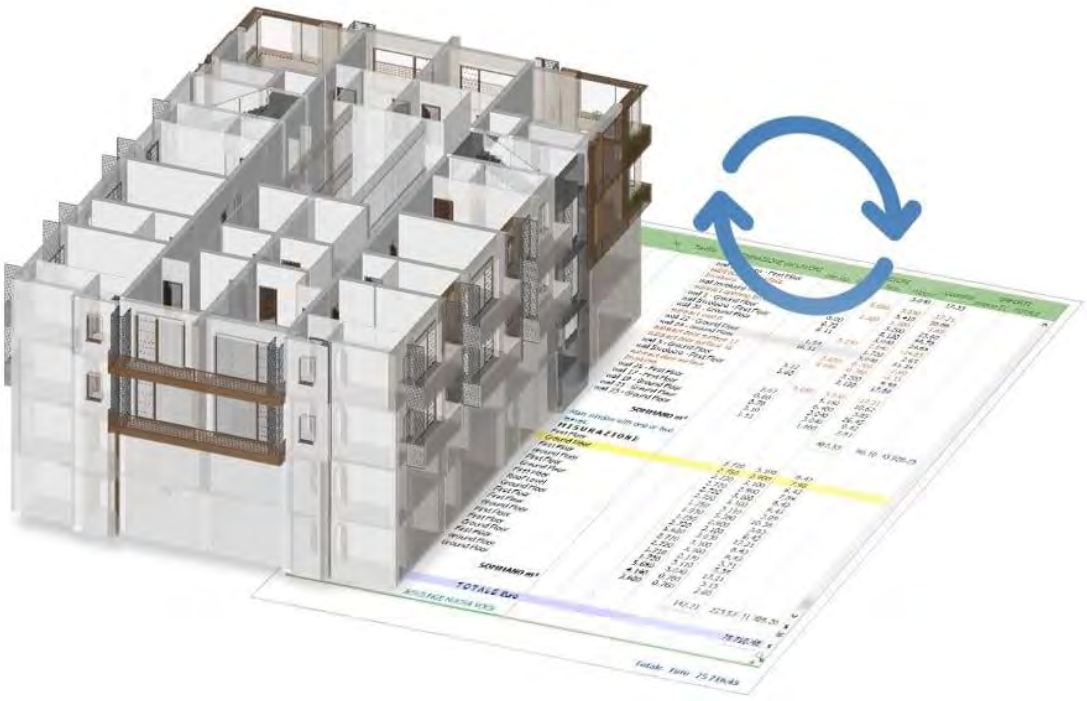


Figure 3.5 : Modélisation BIM 5D

Source : biblus.accasoftware.com

Les avantages du BIM 5D

Le BIM 5D offre plusieurs avantages significatifs pour la gestion des coûts dans les projets de construction :

- Il permet un **meilleur contrôle des coûts** en reliant chaque détail du devis quantitatif à la maquette 3D, garantissant ainsi la précision des mesures et une gestion optimale des dépenses pour les entreprises et les clients.
- Il facilite également une **évaluation rapide des quantités**, rendant le calcul des métrés plus efficace et optimisant les flux de travail des équipes BIM.
- Grâce à la **rapidité de calcul**, les professionnels peuvent gagner du temps en automatisant les procédures, ce qui améliore leur productivité.
- La **qualité du travail** s'en trouve renforcée, avec une gestion plus précise et des gains financiers pour les entreprises et les bureaux d'études.
- Enfin, le BIM 5D permet des **évaluations détaillées et précises**, offrant une meilleure analyse des coûts liés aux matériaux, à l'équipement et à la main-d'œuvre, et une prévisibilité accrue des variations de projet.

3.4.3. BIM 6D

Le BIM 6D intègre les informations relatives à la durabilité dans la maquette numérique, offrant une vision complète des performances énergétiques d'un bâtiment. Cette dimension permet d'analyser et d'estimer la performance énergétique dès la phase de conception, offrant ainsi des perspectives précieuses pour optimiser l'efficacité énergétique. Elle facilite également l'adoption de solutions techniques adaptées visant à réduire la consommation énergétique globale. Enfin, le BIM 6D aide à évaluer la conformité des caractéristiques du bâtiment par rapport à des objectifs de performance prédéfinis, garantissant une approche plus durable et responsable des projets de construction.

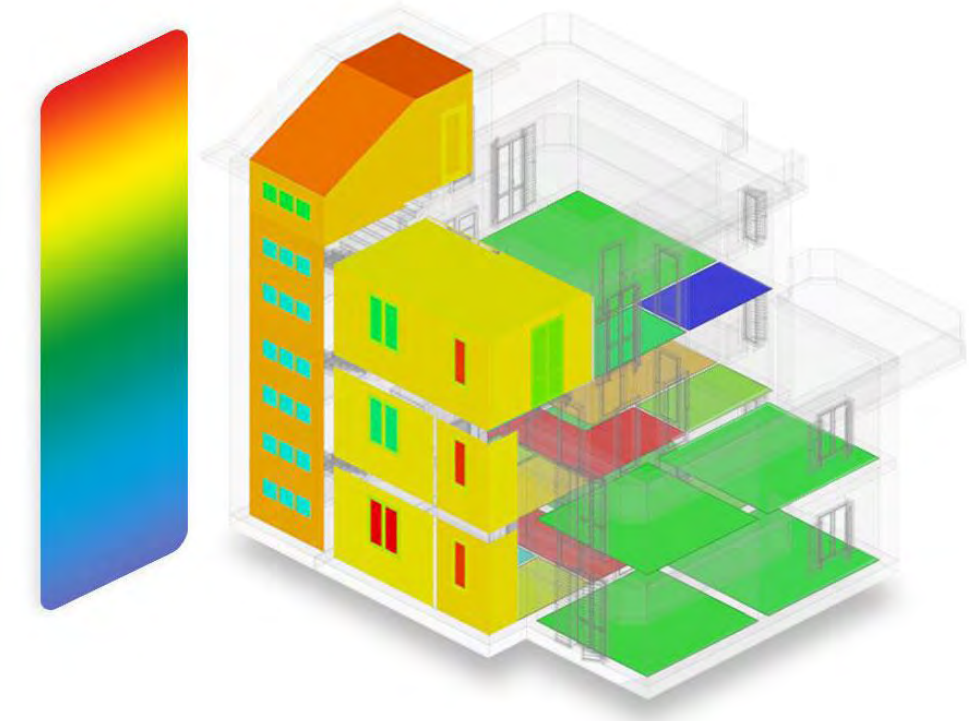


Figure 3.6 : Modèle énergétique d'un bâtiment BIM 6D issu du logiciel TerMus-PLUS

Source : biblus.accasoftware.com

BIM 6D et BEM

Le BEM (Building Energy Modeling) est une méthode de simulation logicielle dédiée à l'analyse de la consommation énergétique des bâtiments. Elle permet d'automatiser les calculs des ponts thermiques et des dispersions thermiques, ainsi que de contrôler le comportement thermodynamique du système bâtiment-installation. Cette approche offre également la possibilité de surveiller, mettre à jour et intégrer les données relatives aux performances énergétiques tout au long du cycle de vie du bâtiment. Grâce au BEM, il est possible d'évaluer les solutions de conception les plus efficaces, d'analyser les effets d'ombrage et de l'éclairage naturel, et de réaliser des simulations énergétiques en mode statique ou dynamique.

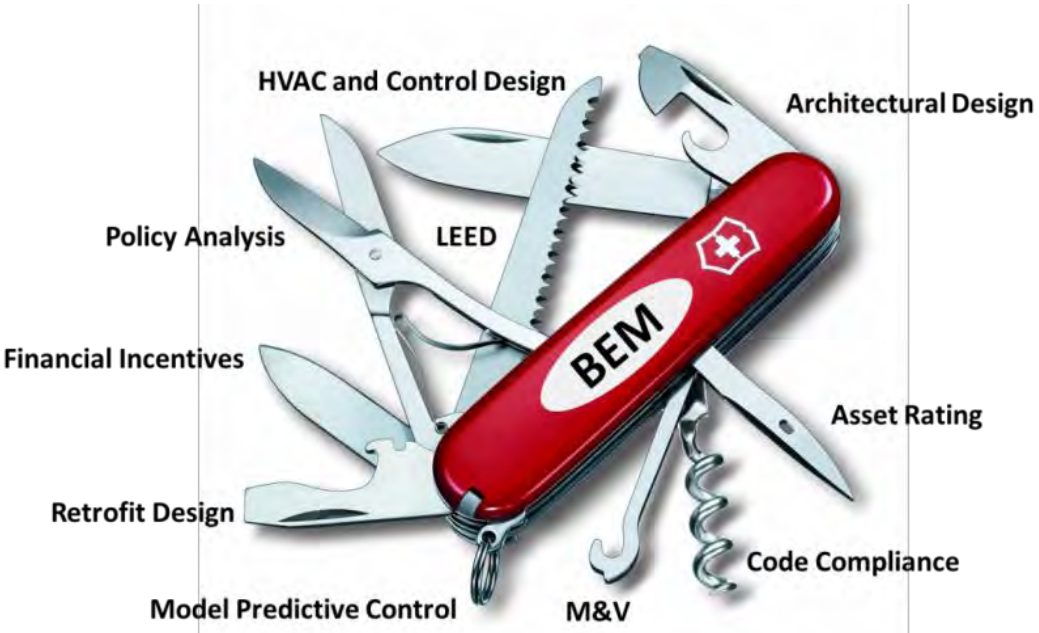


Figure 3.7 : BEM est un outil polyvalent pour l'efficacité énergétique des bâtiments

Sources : nicepng.com

3.4.4. BIM 7D

La 7D dans le BIM concerne la gestion et l'entretien des actifs tout au long du cycle de vie d'un ouvrage. Cette dimension simplifie les activités liées à la maintenance et optimise la gestion des ressources. Le BIM 7D englobe tous les aspects du facility management, garantissant une gestion efficace des actifs existants, tout en assurant la qualité des services et la sécurité des usagers et des travailleurs.

Figure 3.8 : BIM-7D-gestion-entretien-actifs-installations-usBIM

Sources : biblus.accasoftware.com

Le format COBie et le facility management

Le facilities management englobe toutes les opérations liées à l'entretien et à la gestion des différents aspects d'un bâtiment existant, allant des systèmes MEP (électriques, plomberie, mécanique) à la gestion de la végétation, en passant par les systèmes de sécurité, la surveillance, le nettoyage, et la conservation des performances du bâtiment, jusqu'à la cession éventuelle de celui-ci. Le format COBie (Construction Operations Building Information Exchange) permet l'intégration de ces données au sein de plateformes et d'applications dédiées au facility management. En termes simples, COBie est un tableur au format .xml qui offre une structure standardisée pour collecter les informations liées à l'actif et constitue une partie du package livré au propriétaire lors de la mise en service du bâtiment. Ce format facilite ainsi le suivi et la gestion des données tout au long du cycle de vie du bâtiment.

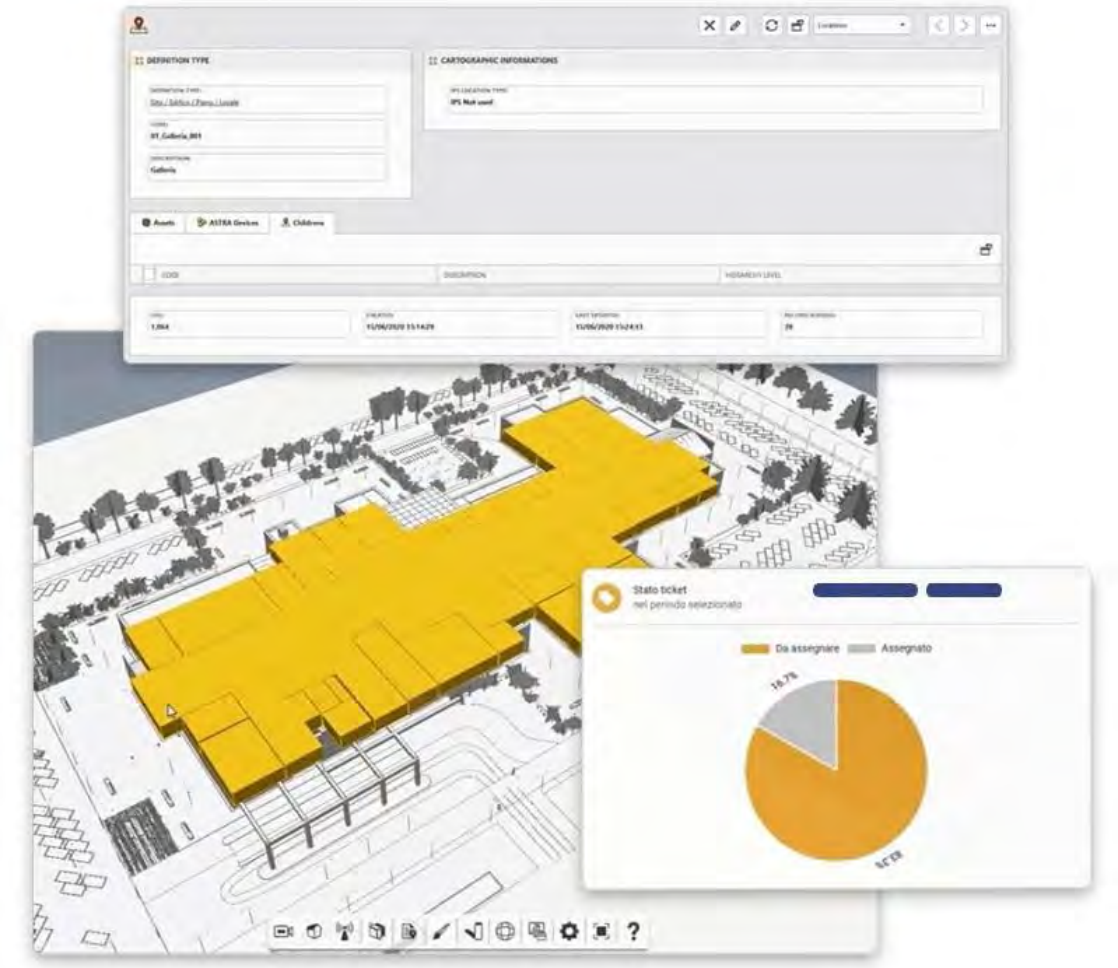


Figure 3.9 : Capture d'écran issue de l'application usBIM.facility BIM 7D

Sources : biblus.accasoftware.com

3.5. Niveau de développement, LOD (level of development)

Le niveau de développement de chaque composant du modèle a été introduit par les documents E202 de l'AIA (American Institute of Architects) en 2008 (Thomassen, 2011). La notion de niveau de développement est l'un des concepts fondamentaux de la maquette numérique (Nagy et al., 2015). *"Il s'agit de préciser avec quel niveau de précision, de "granularité", on va reproduire virtuellement le produit que l'on cherche à représenter"* (Nagy et al., 2015). Autrement dit, le LOD décrit les étapes par lesquelles un modèle BIM peut logiquement passer du plus bas niveau d'approximation conceptuelle au plus haut niveau de précision de représentation (Brewer, Gajendran, Le Goff, & Report, 2012).

Les niveaux de développement définissent ce qui doit être dessiné, les informations et les documents à associer à la maquette, en tenant compte du temps et des différentes phases du projet.

Il est fréquent d'ajouter trop d'informations ou trop de détails trop tôt dans le processus. Les niveaux de développement permettent de compléter la maquette de manière progressive, en ajoutant uniquement ce qui est nécessaire au moment opportun, ni trop ni trop peu.

3.5.1. Level Of Detail (LOD) and Level Of Information (LOI)

Le niveau de détail, ou LOD (Level Of Detail), désigne la précision géométrique d'une maquette numérique, en fonction de la finesse des objets 3D qui la composent. De plus en plus, le terme "Level Of Information" (LOI) est utilisé pour désigner les informations non graphiques associées aux objets 3D. Par exemple, des données sur la résistance d'un matériau ou sur les dernières opérations de maintenance d'une ligne de production peuvent être intégrées dans la maquette. Ensemble, le LOD et le LOI forment le "Level Of Development" (LOD), un standard qui définit à la fois le niveau de détail géométrique et d'information d'une maquette numérique.

3.5.2. LOD dans la convention BIM

La Convention BIM, équivalente en France au BIM Execution Plan (BEP), doit préciser les attentes concernant *les niveaux de définitions* (LOD) que la maquette numérique doit atteindre à chaque étape de son élaboration et durant toute sa période d'utilisation. Selon

buildingSMART France, Le BIM Management doit spécifier, pour chaque classe d'objets, les éléments suivants :

- Le niveau de représentation (NdR)
- Le niveau d'information (NdI)
- Le niveau de documentation (NDoc)
- Le niveau de complétude (NdC)
- Le niveau de coordination (NCo)

Le niveau de développement de la maquette numérique résulte de la configuration de l'ensemble ou d'une partie de ces niveaux.

3.5.2.1. Le Niveau de Représentation (NdR)

Pour chaque livraison de la maquette numérique, la Convention BIM doit spécifier le niveau de représentation (NdR). Celui-ci est divisé en six niveaux de détail géométrique :

- NdR 0 : Marquage ou Repérage (1 point, pas de représentation)
- NdR 1 : Symbole
- NdR 2 : Encombrement (enveloppe extérieure « grossière »)
- NdR 3 : Illustration de la représentation générique
- NdR 4 : Illustration de la représentation détaillée
- NdR 5 : Réaliste (fabricant)

	Niveaux de Représentation	
NdR 0	Marquage	
NdR 1	Symbolique	
NdR 2	Encombrement	
NdR 3	Illustration de la représentation générique	
NdR 4	Illustration de la représentation détaillée	
NdR 5	Réaliste (fabricant)	

Figure 3.10 : Niveaux de représentation NdR

Sources : buildingSMART - Médiaconstruct

3.5.2.2. Le Niveau d'Information (NdI)

Le niveau d'information d'une maquette numérique correspond à la somme des niveaux d'information des objets qui la composent. Ce niveau est déterminé en fonction des processus BIM utilisés et des échanges requis pour les différents cas d'usage du BIM.

		Caractéristiques										
		Dimensionnelles	Matériaux	Structurelles	Acoustique	Thermique	Feu	Durabilité	Masse	Emission carbone	Coût	Délai de mise en oeuvre
N1	Information générique du programme Les objets modélisés intègrent les données du programme	x	x									
N2	Information de type Les objets comportent les informations principales correspondant à l'objet placé dans le contexte du projet	x	x	x	x	x	x					
N3	Information dimensionnelle et calculatoire Les objets sont enrichis d'information permettant des extractions de données pour le calcul ou des usages BIM	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
N4	Information de construction Informations liées aux méthodes de construction et au suivi de chantier	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
N5	Information d'exploitation Informations destinées à l'exploitant dans le cadre de la maintenance de l'ouvrage	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tableau 3.2 : tableau de définition des niveaux d'information NdI

Sources : Guide Mediaconstruct Comment rédiger une convention BIM 2

3.5.2.3. Le Niveau de Documentation (NDoc)

Un niveau de documentation peut être exigé pour une maquette numérique. Ce niveau se réfère à une liste de documents associés aux objets de la maquette.

Le niveau de documentation est assuré par des propriétés attributaires des objets, sous la forme d'hyperliens pointant vers un document ou d'une URL (Uniform Resource Locator) menant à un site Internet.

Par exemple, les attributs des objets de la maquette numérique des ouvrages exécutés permettent de référencer la documentation liée, organisée dans une arborescence structurée.

Il est important de distinguer entre la documentation *liée* et la documentation *associée* :

- Documentation liée : issue d'une base documentaire externe à la maquette, généralement fournie par un constructeur ou un fabricant.
- Documentation associée : générée directement à partir de la maquette numérique, elle inclut des informations indiquant la source de la maquette numérique.

Nom	Descriptif
Fiche signalétique	Fiche signalétique des entreprises & sous-traitants
Fournisseur	Liste des fournisseurs & détails
Fabricant	Liste des fabricants & détails
Fiche « produit »	Références installées, caractéristiques principales des produits et PV associés (Tenue, réaction au feu, certificats matières…)
Inventaire des installations & équipements	Inventaire des installations et équipements installés
Notice technique	Note/notice technique du fabricant
Note de calcul	Note/notice de calcul
Notice d'exploitation	Notice de fonctionnement
Stock	Stock prévu à la livraison et bordereaux de remise
Procès-verbaux	Avis/Visas/Autocontrôle/Procès-verbaux Certificats d'essais des appareils et matériels Inclus : visas et avis ; fiches autocontrôle ; fiches d'essais et de mises au point ; PV de mise en service, de mise en œuvre, d'analyse, de traitement ; PV de levées de réserves
Formation	Présentations, documentations relatives aux formations
Attestation d'assurance	Attestation d'assurance et certificats de garantie
Plan de recollement	Schémas, synoptiques, coupes, carnet de détail…
Photo	Photos de chantier – Vidéos de chantier
Contrat de maintenance	Si proposition de contrat de maintenance par l'entreprise/fabricant
Autres documents	

Tableau 3.3 : Documentation d'un dossier d'exécution des ouvrages (exemples)

Sources : Guide Mediaconstruct Comment rédiger une convention BIM ?

3.5.2.4. Le Niveau de Complétude (NdC)

Le niveau de complétude reflète la possibilité qu'une maquette numérique ne présente pas un niveau homogène de représentation, d'information, de coordination, et de documentation pour tous les objets d'un ouvrage.

La maquette numérique peut afficher des niveaux de complétude variés :

- En fonction de la segmentation des maquettes ;
- Selon la phase du projet dans le cycle de vie de l'ouvrage.

Par exemple, la maquette numérique d'un hôpital peut être partiellement modélisée. Une chambre type pourrait bénéficier d'un niveau de définition élevé, tandis que les autres chambres du même type seraient simplement identifiées par un lien renvoyant à cette chambre type. De même, on pourrait modéliser le ferraillage d'un ensemble poteau-poutre et simplement identifier cet ensemble dans le reste de l'ouvrage sans détailler les armatures.

3.5.2.5. Le Niveau de Coordination (NCo)

Le niveau de coordination indique le degré de résolution des interférences spatiales, techniques et réglementaires, en définissant et en hiérarchisant la gestion des collisions entre les maquettes. La Convention BIM doit préciser clairement le niveau de coordination requis pour chaque livraison de la maquette numérique.

Ce niveau de coordination augmente progressivement au cours des phases de conception et de présynthèse, atteignant son maximum lors des études d'exécution et de synthèse.

Pendant les phases initiales, telles que ESQ, APS et APD, un niveau de coordination faible est acceptable. En revanche, la gestion des réservations illustre un niveau de coordination élevé dans la maquette numérique.

3.5.3. Des notions de LOD, LOI, LOG à la notion de « Level Of Information Need »:

La notion de LOD, initialement définie comme « Level of Detail » (Niveau de détail), a évolué avec le temps.

Aujourd'hui, on parle de plus en plus de « Level of Information Need » (Niveau d'Information Requis). Ce changement vise à unifier et harmoniser les pratiques, car différents pays utilisent actuellement des terminologies et des échelles variées pour exprimer leurs exigences d'information à chaque phase du projet.

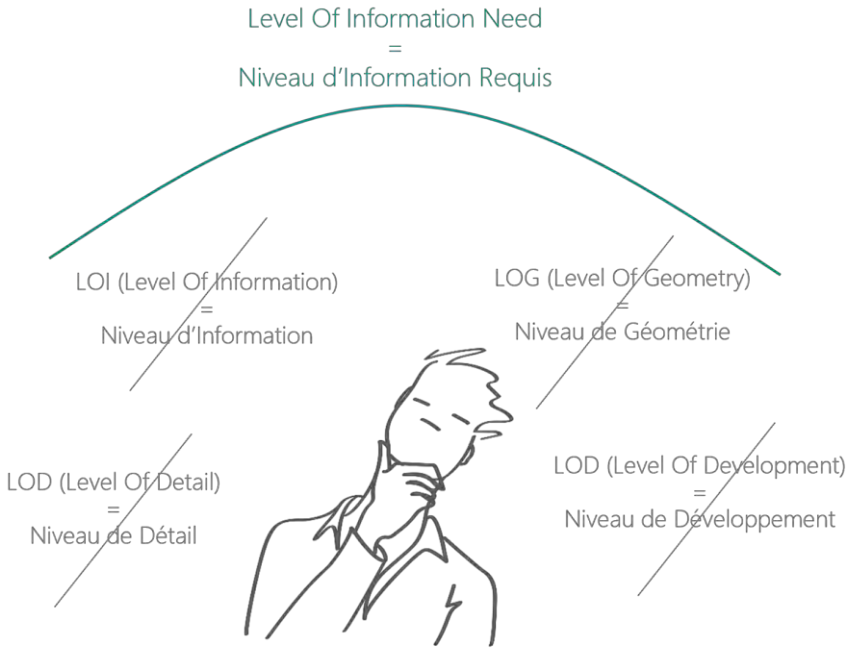


Figure 3.11: Level Of Information Need

Sources : digitalconstruction.be

3.5.4. Les LOD selon les pays

Les LOD en Amérique

Aux États-Unis, les LOD sont détaillés dans le document *« Level of Development Specification »* publié par le BIMForum. Ils comprennent une description précise des éléments à modéliser et à définir pour les niveaux LOD 100, 200, 300, 350 et 400.

Les « niveaux GID » au Luxembourg

Au Luxembourg, le concept de « niveau GID » est utilisé, intégrant la granularité liée à la géométrie, à l'information et à la documentation.

Les LOD en Angleterre

En Angleterre, le terme LOD, dans le sens de *« Level of Development »*, est scindé en deux parties :

- *LOI (Level of Information)* pour les informations non graphiques.
- *LOD (Level of Detail)* pour les aspects graphiques.

Les ND en France

En France, les *Niveaux de Développement* (ND) s'inspirent des LOD américains. Ils comprennent six niveaux (ND 1 à ND 6) qui définissent le degré de renseignement attendu pour chaque élément de la maquette numérique en fonction de l'avancement du projet.

3.5.4.1. LOD en Amérique

Cinq niveaux de développement, définis par l'AIA (American Institute of Architects), décrivent l'avancement d'un modèle BIM. Ces niveaux, identifiés comme LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 400 et LOD 500, correspondent aux principales étapes du projet : esquisse, avant-projet (APS ou APD), projet détaillé, fabrication et construction (Jiang, 2011 ; Urbina Velasco, 2013).

Chaque niveau nécessite une coordination étroite entre les parties prenantes afin de déterminer qui est responsable du développement de chaque composant et du degré de précision à atteindre dans le modèle BIM (Gaudin, 2013). Les spécificités de ces niveaux sont détaillées dans le tableau 5 (Naulet, 2014).

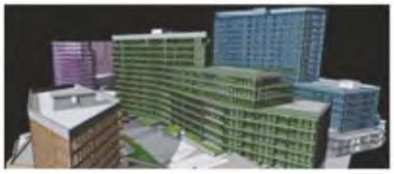
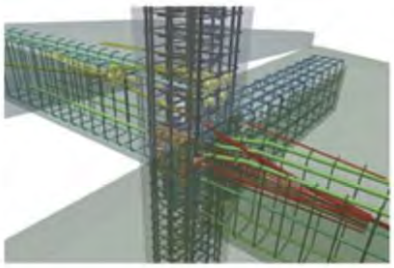
	LOD 100 Le modèle BIM consiste à modéliser la volumétrie globale du bâtiment, les exploitants de ce dernier sont autorisés à effectuer tout type d'analyse (volume, orientation du bâtiment, coût au m^2, etc.).
	**LOD 200** Similaire à la phase APS ou APD, le modèle consiste en systèmes ou assemblages avec des quantités, taille, emplacement et orientation approximatifs. Les usages autorisés incluront l'analyse des systèmes choisis par l'application de critères de performance généralisés.
	LOD 300 Les éléments du modèle BIM sont appropriés pour la génération des documents de construction traditionnels ainsi que les plans d'exécution. L'analyse et la simulation sont autorisées pour les éléments et systèmes détaillés.
	**LOD 400** Ce niveau de développement est considéré comme adéquat pour la fabrication et l'assemblage. L'auteur du modèle est plus susceptible d'être le sous-traitant ou le fabricant comme il est généralement en dehors du champ d'application des services de l'architecte ou de l'ingénieur. Il constitue une exposition sévère au risque.
	LOD 500 Le niveau final de développement représente le projet tel qu'il a été construit (l'état de récollement). Le modèle est adapté à la maintenance et l'exploitation de l'ouvrage.

Tableau 3.4 : Définition du niveau de développement LOD – Exemple américain (AIA)

Source : (Naulet, 2014)

3.5.4.2. LOD en France

Le tableau suivant offre une synthèse claire des différents niveaux de développement d'une maquette numérique. Les deux premières colonnes précisent les niveaux de développement,

tandis que la troisième colonne fournit une illustration simplifiée de ces niveaux. La dernière colonne décrit brièvement les objectifs associés à chaque niveau de développement. Cette structure est inspirée des *Levels of Development* (LOD) définis aux États-Unis.

Tableau 1 : Tableau de synthèse des différents niveaux de développement d'une maquette numérique

ND 1	CONCEPTS ESQUISSE		Analyses et impact
ND 2	AVANT-PROJET SOMMAIRE PERMIS DE CONSTRUIRE	 LOD 200 / ND 2 Réseaux primaires & Systèmes	Zones techniques Réseaux primaires et équipements
ND 3	AVANT-PROJET DÉTAILLÉ PRÉ-SYNTHÈSE PRO/DCE		Coordination des interdisciplines
ND 4	SYNTHÈSE ÉTUDE D'EXÉCUTION CONSTRUCTION		Modélisations des ouvrages à exécuter
ND 5	DOSSIER DES OUVRAGES EXÉCUTÉS		Modèle virtuel = Ouvrage exécuté
ND 6	EXPLOITATION		Gestion technique patrimoniale

Tableau 3.5 : synthèse des différents niveaux de développement d'une maquette numérique

Source : BIM/Maquete numerique – contenu et niveau de dévelopement -Le Moniteur

3.6. Livrable BIM

Un livrable BIM est le résultat d'un ou plusieurs processus BIM exécutés à un jalon spécifique du projet. Selon Naulet (2014), « le livrable BIM contient l'information nécessaire à l'exploitation de ce potentiel, par exemple l'estimation des coûts, la coordination des différents intervenants, l'exploitation et la maintenance de l'ouvrage, etc. » (Naulet, 2014).

Les livrables BIM peuvent être de natures diverses :

- Des modèles (fonctionnels, logiques, analytiques, physiques, etc.) ;
- Des données sur la géométrie des objets ;
- Des données sur les propriétés des objets ;
- Des documents (plans, nomenclatures, etc.).

Il est à noter que la publication d'un livrable est systématiquement associée au dépôt de la maquette numérique dont il est issu. Le tableau 6 illustre la définition des livrables par phase du projet et par échelle.

3.6.1. Livrable 3D

Les modèles d'information 3D, diffusés en tant que livrables BIM, peuvent être fournis soit au format IFC (format d'échange standard), soit au format natif. Le modèle au format IFC est généré à partir du format natif, conformément aux exigences définies par la Convention BIM.

Dans ces modèles, on retrouve à la fois des données sur la géométrie et des informations sur les propriétés des objets.

Figure 3.12: Livrable 3D – Maquette numérique

Sources : groupe-parera.com

3.6.2. Livrable 2D

Les documents de type plans, nomenclatures, métrés, etc., sont produits au format PDF et éventuellement dans leur format natif (par exemple, DWG). Ces livrables BIM 2D sont générés à partir de la maquette numérique.

La référence et la date de la maquette dont ils proviennent doivent être clairement indiquées sur chaque livrable BIM 2D.

Figure 3.13: Livrable 2D – Elevation extraite de la MN

Sources : groupe-parera.com

3.6.3. Exemple des livrables par phase du projet et par échelle

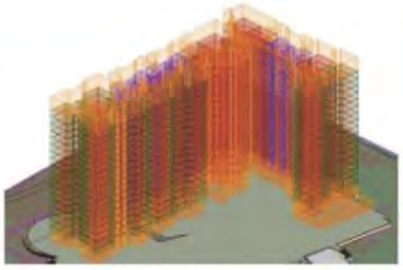
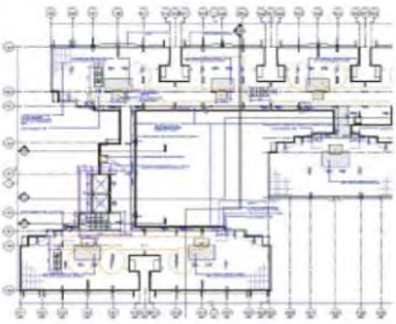
Phases projet - Étapes jalon	Échelle de dessin 2D	Livrables BIM	
		Niveau de détail de chaque élément / assemblage	Exemples
Esquisse - Permis de construire - Faisabilité	1 : 200 à 1 : 1 000	Étude de volumétrie ou de données sous une autre forme avec des propriétés telles que dimensions, surface, volume, localisation et orientation exprimées d'une manière indicative.	 Modèle BIM de volumétrie
APS / APD - Approbation du planning - Documents d'appel d'offre Conception - Réalisation	1 : 200	Composant ou système du modèle BIM avec dimensions, forme, localisation, orientation et quantités approximatives. Des propriétés non géométriques peuvent être renseignées.	 Modèle BIM - phase APS
Projet détaillé - Approbation du professionnel - Poursuite de la rédaction des documents de l'appel d'offre conception - réalisation ; ou - Documents d'appel d'offre classique	1 : 100	Version plus détaillée de composants ou systèmes du modèle BIM avec dimensions, forme, localisation, orientation et quantités non géométriques doivent être renseignées.	 Section détaillée du modèle Bim  Plan détaillé généré à partir du modèle Bim

Tableau 3.6 : Définition des livrables par phase du projet et par échelle – Singapore BIM guide

Source : (Naulet, 2014)

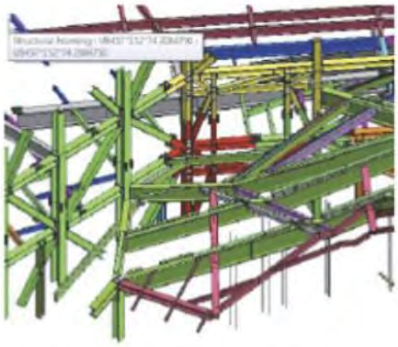
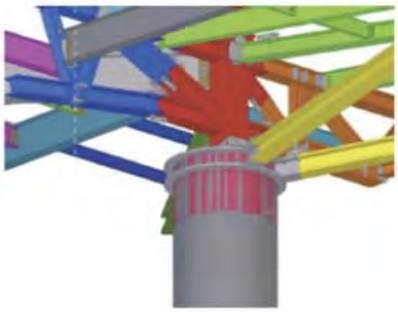
Phases projet - Étapes jalon	Échelle de dessin 2D	Livrables BIM	
		Niveau de détail de chaque élément / assemblage	Exemples
Construction - Constructibilité - Fabrication	1 : 5 à 1 : 100	Les éléments du modèle BIM sont modélisés avec les détails complets de fabrication et d'assemblage, en plus de la phase projet détaillé, là où c'est applicable ou utile pour la construction. Autrement, les détails peuvent être représentés sous forme de fichiers de dessin 2D pour compléter le niveau de détail et la phase projet détaillée.	 - Ossature métallique par un sous-traitant - Géométrie et dimension spécifiques - Connections par soudage - Possibilité de générer les plans d'EXE - En mesure de spécifier la fabrication - En mesure de spécifier les détails d'assemblages
Tel que construit / récollement - Certificat légal d'achèvement / permis d'occupation temporaire - Achèvement final Conception - Réalisation	1 : 100	Le niveau de détail des éléments BIM est similaire à celui de la phase PRO mis à jour avec les changements intervenus pendant la construction.	 Comparaison d'un modèle de structure tel que construit (au-dessus) avec l'état actuel sur site (au-dessous)

Tableau 3.6 suite : Définition des livrables par phase du projet et par échelle – Singapore BIM guide

Source : (Naulet, 2014)

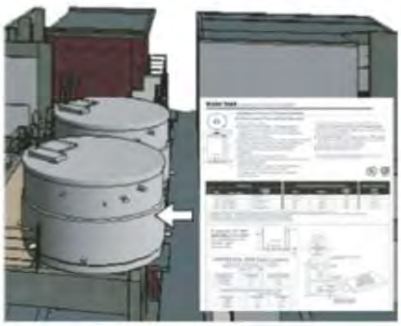
Phases projet - Étapes jalon	Échelle de dessin 2D	Livrables BIM	
		Niveau de détail de chaque élément / assemblage	Exemples
Gestion des installations techniques - Exploitation et maintenance	1 : 50	Les éléments du modèle BIM sont modélisés tels qu'ils sont construits. Le modèle est une représentation de l'état d'achèvement actuel du bâtiment.	 Exemple d'un élément BIM « réservoir de stockage d'eau » auquel des spécifications au format PDF ont été attachées.

Tableau 3.6 suite : Définition des livrables par phase du projet et par échelle – Singapore BIM guide

Source: (Naulet, 2014)

Chapitre 4 : Stratégie BIM

4.1. Les Différents documents BIM

4.1.1. La Charte BIM

4.1.2. Le Cahier des Charges BIM / l'EIR

4.1.3. La Convention BIM / Plan d'Execution BIM BEP

4.1.4. Le MIDP et le TIDP

4.2. Les membres de l'équipe BIM

4.3. Objectifs et usages BIM

Chapitre 4 : Stratégie BIM

4.1. Les Différents documents BIM

Il existe différents documents dans la chaîne documentaire du BIM, selon qu'il s'agisse d'un projet ou d'une stratégie globale. Bien que ces documents soient variés, l'objectif principal reste le même, à savoir, optimiser la qualité de la coordination et des échanges entre les différents contributeurs, et définir des processus afin de garantir la qualité des maquettes numériques de chacun.

La structuration des documents BIM a beaucoup évolué depuis l'apparition de standards internationaux. Avant l'ISO 19650 (publiée entre 2018 et 2020), chaque pays ou projet utilisait ses propres pratiques. L'ISO 19650 a introduit une organisation rigoureuse, alignée sur la gestion de l'information tout au long du cycle de vie d'un projet.

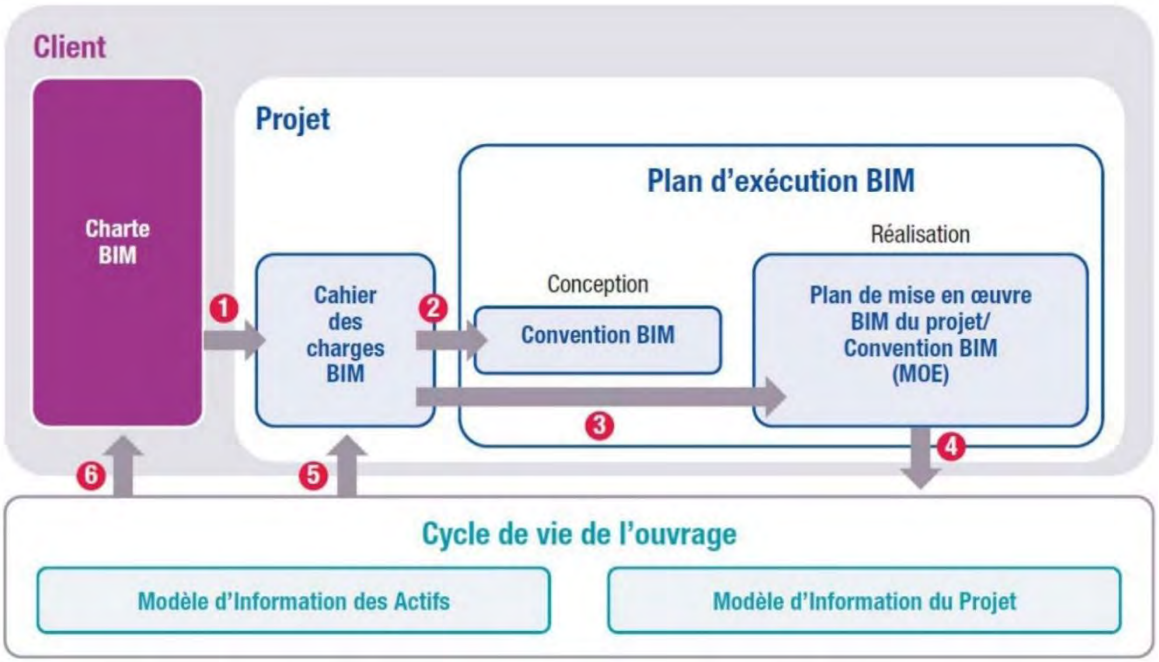


Figure 4.1 : Les documents du BIM

Source: Building Smart Mediaconstract : Guide - Comment rédiger une convention BIM ?

Globalement, les documents BIM peuvent être regroupés en trois familles :

Documents liés au client

- Charte BIM

Documents liés au projet

- Cahier des charges BIM ou exigences d'informations de l'employeur (EIR)
- Convention BIM ou plan d'execution BIM (BEP)

Documents liés au cycle de vie de l'ouvrage

- Modèle d'information des actifs (AIM)
- Modèle d'information du projet (PIM).

Il convient de préciser qu'après l'apparition de la norme ISO 19650, les termes « charte BIM », « cahier des charges BIM » et « convention BIM » tendent à être remplacés par les dénominations OIR, EIR et BEP, sauf dans les pays francophones où ces appellations restent encore largement utilisées.

4.1.1. La Charte BIM

La Charte BIM définit la stratégie globale de la maîtrise d'ouvrage vis-à-vis du BIM. Elle précise ses attentes, comme les normes de modélisation ou les livrables, par exemple. Elle expose également les objectifs généraux et la vision du BIM. La charte peut aussi indiquer les outils numériques qui seront utilisés ainsi que l'organisation interne.

Pour les projets les plus avancés, la Charte BIM peut préciser si des outils numériques de gestion de patrimoine seront utilisés, ainsi que les règles de codification et de classification à respecter. Ces éléments structureront les maquettes numériques des différents contributeurs à travers les différentes phases du projet.

4.1.1.1. L'objet de La Charte BIM

L'objet principal de la Charte BIM est d'exposer la démarche et les objectifs BIM du maître d'ouvrage. Le maître d'ouvrage fixe un cadre général pour ses futures opérations de conception, de construction neuve, de réhabilitation ou de rénovation, ou encore pour la modélisation de son patrimoine.

4.1.1.2. L'auteur de la charte BIM

La charte BIM est directement élaborée par le maître d'ouvrage. En pratique, il est fréquent que le maître d'ouvrage fasse appel à un prestataire intellectuel pour lui confier la mission

d'élaborer cette charte. Cette mission est souvent attribuée à l'AMO BIM (Assistance à Maîtrise d'Ouvrage), qui intervient dans un cadre plus large d'accompagnement du maître d'ouvrage dans sa démarche BIM.

4.1.1.3. Le contenu de la charte BIM

Le contenu de la charte BIM varie en fonction des maîtres d'ouvrage, des spécificités de chaque projet, notamment en matière de patrimoine immobilier, et des objectifs poursuivis en matière de BIM. L'analyse de plusieurs chartes BIM de maîtres d'ouvrage publics permet de dresser une liste des thèmes pouvant être abordés dans la charte. Ces thèmes incluent :

1. Présentation du document :

Définition des termes clés ; Valeur de la charte ; Domaine d'application (construction neuve, réhabilitation, modélisation du patrimoine existant…).

2. Présentation de la démarche entreprise par le maître d'ouvrage :

Présentation du maître d'ouvrage ; Caractéristiques de son patrimoine et/ou de ses projets de construction neuve ; Structuration (notamment contractuelle) et animation de la démarche ; Organisation pour la gestion du BIM.

3. Description des participants et intervenants :

Définition des participants (maître d'œuvre, AMO, AMO BIM, BIM manager, BIM coordinateur, BIM modélisateur, entreprises…) ; Rôles et missions des participants ; Attentes du maître d'ouvrage ; Responsabilités des participants (matrice des responsabilités).

4. Description des objectifs de qualité et de performance attendues :

Types d'usage du BIM identifiés et visés ; Intérêts du recours au processus BIM ; Bénéfices constatés et/ou attendus.

5. Caractéristiques et spécifications techniques :

Structuration du processus collaboratif (support, contrôle…) ; Formats des fichiers ; Règles de modélisation des objets ; Organisation et contenu de la maquette numérique à chaque étape (organisation spatiale, arborescence, niveaux de détail et de précision…) ; Formats des livrables ; Propriété et protection des données ; Propriété et droits de la maquette.

4.1.2. Le Cahier des Charges BIM / l'EIR

Le Cahier des Charges BIM définit les besoins spécifiques du maître d'ouvrage pour un projet particulier. Il complète la Charte BIM, mais s'applique à des projets spécifiques, où les éléments de la charte sont adaptés et interprétés en fonction des particularités du projet.

Les éléments clés du Cahier des Charges BIM comprennent :

- Les acteurs et missions des contributeurs BIM : Identification des rôles des différents intervenants et des missions associées.
- Les échanges et contrôles BIM attendus : Description des attentes concernant les échanges de données et les contrôles nécessaires pour garantir la qualité du processus.
- Les objectifs BIM du projet : Ces objectifs peuvent varier d'un projet à l'autre et être différents des objectifs globaux de la charte.

Exigences d'Information de l'Employeur EIR (également appelées Exigences d'échanges d'informations), en étant proche du cahier des charges BIM, a une fonction plus précise et plus formalisée. C'est un document contractuel très structuré et officiel selon ISO 19650. Il est défini dans la PAS 1192-2 comme un « document pré-contractuel précisant les informations à fournir, ainsi que les normes et procédures à adopter par le fournisseur dans le cadre du processus de réalisation du projet ».

Ce document comprend plusieurs types d'informations :

- Les responsabilités liées au projet ;
- Les échéanciers ;
- Les formats de livraison attendus ;
- Le niveau d'exigence en matière d'information ;
- Les procédures à adopter ;
- Le plan de travail à utiliser ;
- Les éventuelles contraintes de format ;
- Etc.

Ainsi, l'EIR fournit à la fois à l'équipe de construction et au client suffisamment d'informations pour répondre à un appel d'offres ou pour comprendre comment l'entrepreneur prévoit de respecter les délais du projet. L'EIR joue également un rôle réglementaire, en veillant à ce que les informations soient correctement fournies et mises à disposition des parties concernées, au moment et à l'endroit requis.

4.1.2.1. Le contenu d'un cahier des charges BIM

Le cahier des charges BIM clarifie le processus collaboratif du BIM en précisant à la fois les livrables de l'opération et les conventions à adopter. Ce document est l'essence même de la démarche BIM et en garantit la pertinence.

Un cahier des charges BIM contient généralement les éléments suivants :

- Présentation générale du projet

Objectifs principaux du projet ; Parties prenantes impliquées ; Raison d'intégrer une démarche BIM (gains attendus, vision stratégique).

- Objectifs BIM du projet

Finalités BIM (ex. : meilleure coordination, suivi des coûts, préparation d'un DOE numérique), usages BIM attendus (modélisation, analyse énergétique, quantification automatique, maintenance future...).

- Normes et standards BIM

Normes nationales et internationales applicables (ISO 19650, IFC, PAS 1192, etc.) ; Formats d'échange de données attendus (IFC, RVT, DWG, COBie…) ; Niveaux de développement exigés (LOD — Level of Development / LOI — Level of Information).

- Exigences en matière de modélisation

Détail des niveaux de développement aux différentes phases du projet (APS, APD, EXE...) ; Structures des fichiers ; Conventions de nommage ; Organisation des calques et des objets.

- Procédures de collaboration

Mode de travail collaboratif (openBIM ou closedBIM) ; Organisation des échanges d'information entre équipes ; Coordination interdisciplinaire (architecte, ingénieurs, BET techniques…).

- Gestion des modèles et des données

Utilisation du Common Data Environment (CDE) ; Modalités de validation, de révision et de livraison des modèles ; Processus de détection et de gestion des conflits (clash detection).

- Rôles et responsabilités BIM

Désignation des acteurs clés : BIM Manager, Coordinateur BIM, Modeleur BIM ; Missions précises de chaque intervenant.

- Aspects Juridiques et Contractuels

Définition des droits d'exploitation ; Propriété intellectuelle ; Mesures en cas de non-conformité, et conditions de règlement des conflits.

4.1.2.2. Contenu d'un EIR selon ISO 19650

L'EIR est un cahier des charges spécifique aux besoins d'information dans un projet BIM, tandis que le cahier des charges BIM peut être plus général, englobant aussi des aspects organisationnels, techniques et stratégiques sans forcément structurer précisément les livrables. Un EIR typique dans un projet BIM est généralement divisé en trois grandes sections couvrant les aspects techniques, de gestion, et commerciaux.

- Dans la partie gestion, on trouvera des informations concernant :

Les normes à appliquer ; Les rôles et responsabilités des parties prenantes ; La sécurité ; Le processus de coordination et de détection des conflits (clash detection) ; Le processus de collaboration ; Le plan de conformité ; Les contraintes de performance des systèmes ; Les réunions de revue des maquettes ; La santé, la sécurité et la gestion de la conception en construction (Health & Safety et Construction Design Management) ; La planification des travaux et la ségrégation des données (gestion des modèles, conventions de nommage, etc.) ; La stratégie de livraison des informations sur l'actif.

- Dans la section commerciale, seront incluses des informations telles que :

Un calendrier de livraison des données (données extraites du modèle BIM en cours de développement et soumises au client à des étapes clés) ; L'objectif stratégique du client ; Les livrables BIM définis pour le projet ; L'évaluation des compétences spécifiques au BIM.

- Dans la partie technique, on trouvera des informations détaillées sur :

Les plateformes logicielles que le client souhaite utiliser dans le projet (par exemple, le choix de l'Environnement Commun de Données — CDE) ; Les formats d'échange de données ; Le niveau de détail attendu ; Les exigences en matière de formation.

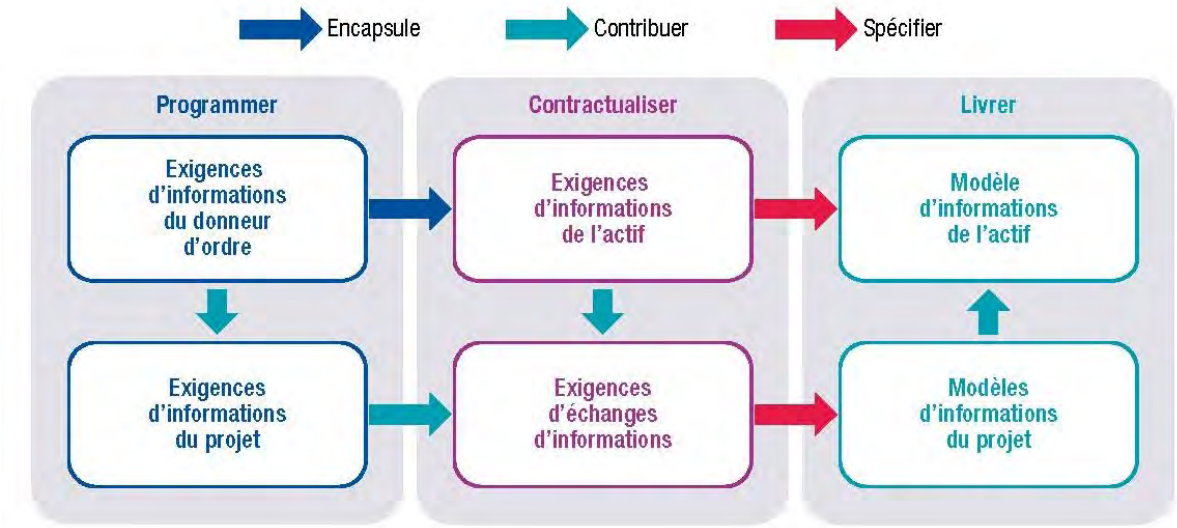


Figure 4.2 : Hiérarchie des « exigences d'information » selon ISO 19650

Source: Building Smart Mediaconstract : Guide - Comment rédiger une convention BIM ?

Dans la norme ISO 19650, Il existe différents types d'exigences d'information qui permettent de générer et d'alimenter un EIR.

- Les Exigences d'Information Organisationnelles (OIR) correspondent aux informations définies par un maître d'ouvrage ou un client pour traduire sa stratégie BIM en objectifs de qualité et de performance. Elles précisent les attentes générales en matière de gestion de l'information tout au long du cycle de vie des projets et des actifs. L'OIR regroupe ainsi les objectifs et exigences BIM à atteindre. Il peut être formalisé dans une charte BIM propre à l'organisation.
- Les Exigences d'Information du Projet (PIR) sont spécifiées à partir de l'OIR et définissent quelles informations la partie mandante d'un projet a besoin d'obtenir de

l'équipe de réalisation. Elles précisent les besoins du maître d'ouvrage pour la gestion d'un ouvrage spécifique.

- Les Exigences d'Information sur les Actifs (AIR) sont générées à partir de l'OIR et spécifient les informations que l'équipe projet doit livrer à la phase de transfert du projet, principalement pour l'exploitation et la gestion de l'ouvrage.

L'AIR et le PIR sont deux ensembles distincts mais parfaitement cohérents et complémentaires, qui contribuent à la spécification de l'ensemble de l'information de l'EIR.

Deux autres documents BIM regroupent les informations à livrer : le Modèle d'Informations de l'Actif (AIM) et le Modèle d'Informations du Projet (PIM).

- L'AIM est un ensemble de données et de modèles numériques relatif à un actif existant (par exemple un bâtiment ou une infrastructure). Il est principalement utilisé pour la gestion, l'exploitation et la maintenance de l'ouvrage tout au long de son cycle de vie.
- Le PIM correspond à l'ensemble des données et modèles produits pendant la conception, la construction ou la rénovation d'un projet. Il sert à concevoir, planifier, analyser et réaliser le bâtiment.

En résumé : le PIM sert à construire, l'AIM sert à exploiter.

4.1.3. La Convention BIM / Plan d'execution BIM (BEP)

La Convention BIM ou le plan d'execution BIM (BEP) d'un projet est un document opérationnel qui permet de répondre au Cahier des Charges BIM (EIR) du maître d'ouvrage. Il doit décrire précisément le processus BIM mis en place pour le projet, en détaillant l'organisation, les acteurs impliqués et leurs rôles respectifs, ainsi que la gestion et les échanges de données dans un environnement collaboratif.

Généralement rédigée par l'équipe de BIM Management, la convention est élaborée en étroite collaboration avec la maîtrise d'ouvrage et en coordination avec l'ensemble des parties prenantes du projet qui souhaitent ou peuvent adhérer à cette démarche. Cette convention vise à structurer et organiser le projet afin d'assurer la bonne application du BIM tout au long de son cycle de vie.

Il existe deux types de Plan d'execution BIM, dont la différence principale réside dans le moment de leur rédaction.

- Le BEP pré-contractuel — également appelé Convention BIM en phase appel d'offres — est établi avant la signature du contrat. Il permet aux prestataires ou candidats de démontrer leur capacité à répondre aux exigences du maître d'ouvrage. Ce document inclut généralement des informations sur les méthodes de travail proposées, les processus de modélisation, ainsi que les étapes de conception envisagées.
- Le BEP post-contractuel — aussi appelé Convention BIM en phase maîtrise d'œuvre (MOE) — est rédigé après l'attribution du marché. Il constitue un document contractuel officiel qui formalise les engagements de l'équipe projet en matière de gestion de l'information BIM.

4.1.3.1. L'élaboration du BEP

L'élaboration d'un BEP est une étape clé pour organiser la production, l'échange et la gestion des informations dans un projet BIM. Ce document permet de traduire les exigences du maître d'ouvrage (formulées dans l'EIR) en un plan opérationnel clair pour toutes les parties prenantes.

Pour le rédiger, il faut d'abord analyser les exigences du client, puis constituer l'équipe BIM en désignant les rôles (BIM Manager, coordinateurs, modeleurs, etc.). Le BEP doit ensuite être structuré en plusieurs rubriques, incluant : les objectifs du projet, les standards et conventions BIM, l'organisation des échanges (via une plateforme CDE), le planning de production, les livrables attendus, les procédures de contrôle qualité, ainsi que les mesures de sécurité et de confidentialité. Enfin, le BEP doit être validé par l'ensemble des intervenants, mis à jour si nécessaire, et servir de référence tout au long du projet.

L'équipe de BIM Management joue un rôle clé en animant un cycle de réunions tout au long de l'élaboration du BEP, en veillant à ce qu'il soit approuvé par toutes les parties prenantes du projet. Ce document doit être validé par les différents contributeurs dès le début du projet, au début de la phase de conception, afin de garantir une bonne gestion du processus BIM dès le départ.

Le BEP, ainsi que ses annexes, doivent être régulièrement mise à jour par l'équipe de BIM Management pour refléter l'évolution du projet. Les mises à jour peuvent être nécessaires en raison de divers facteurs, tels que :

- L'évolution du projet (modifications du programme, ajustements budgétaires, changements techniques, etc.) ;
- L'évolution des intervenants (ajout de nouveaux partenaires ou modifications dans les rôles des contributeurs) ;
- L'évolution des Objectifs BIM (changements dans les objectifs du maître d'ouvrage ou dans la stratégie BIM).

Le processus de modification du BEP est assuré par l'équipe de BIM Management, en concertation avec tous les contributeurs, et suit le même processus collaboratif que lors de son élaboration initiale.

4.1.3.2. La convention BIM / BEP type !

Afin de faciliter l'intégration des professionnels dans des projets en BIM, plusieurs outils et plateformes ont été développés pour standardiser et simplifier l'élaboration des documents BIM conformément à la norme ISO 19650. En France, dans le cadre d'un appel d'offres lancé par le Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment (PTNB), le Cerema et le bureau d'études BIM in Motion se sont associés et ont été retenus pour rédiger une convention BIM type. Cet outil est aujourd'hui disponible en ligne.

La plateforme Plannerly, quant à elle, constitue un outil en ligne innovant qui permet de créer, gérer et valider les documents BIM tout au long du cycle de vie d'un projet. Conçue pour répondre aux exigences des normes internationales telles que l'ISO 19650, Plannerly propose une approche structurée, collaborative et interactive pour produire efficacement des documents essentiels comme le BEP (BIM Execution Plan), l'EIR (Employer's Information Requirements), ainsi que les OIR, PIR et AIR.

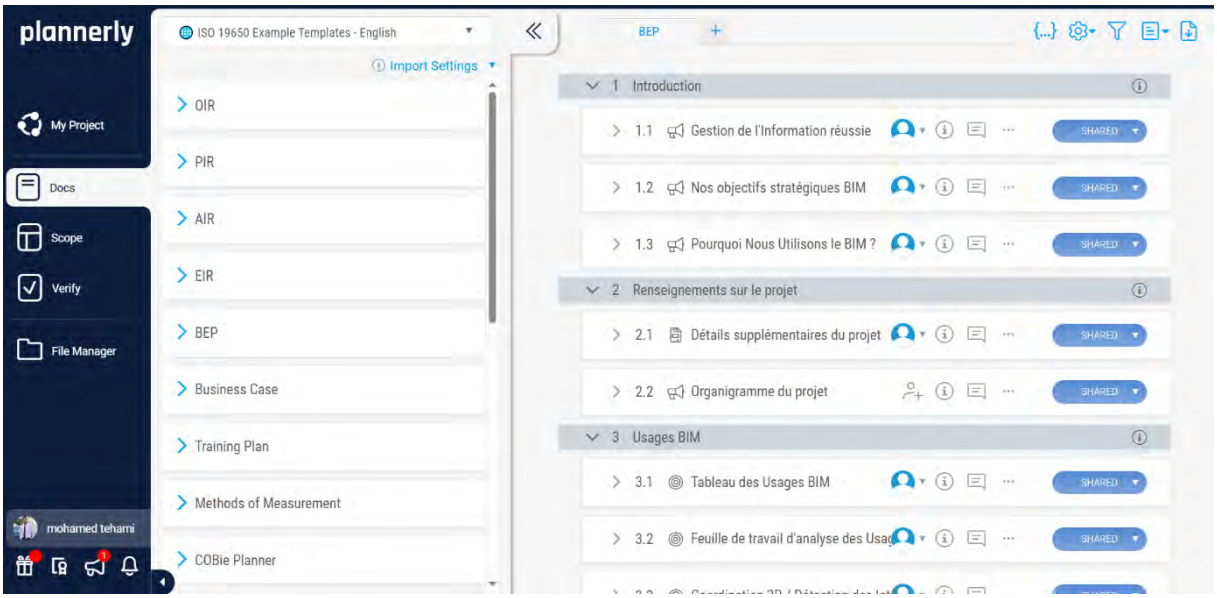


Figure 4.3 : capture d'écran de la plateforme Plannerly

Source: plannerly.com

4.1.4. Le MIDP et le TIDP

Le Plan Directeur de Livraison de l'Information (MIDP - Master Information Delivery Plan) est un document central dans un projet BIM. Il définit quelles informations doivent être produites, par qui, quand et comment, tout au long du projet. Le MIDP regroupe et structure l'ensemble des TIDP (Task Information Delivery Plans), c'est-à-dire les plans de livraison spécifiques à chaque tâche, élaborés par les différentes équipes ou acteurs impliqués.

Le MIDP précise notamment:

- les types de livrables (modèles, documents, données) attendus ;
- les jalons (dates clés) pour la livraison de ces livrables ;
- les responsabilités de chaque contributeur ;
- les processus de vérification, de validation et de coordination.

Il est exigé par l'EIR et constitue un élément essentiel du BEP, conformément à la norme ISO 19650.

4.1.4.1. Elaboration du MIDP - TIDP

Le MIDP est généralement élaboré par le responsable de la livraison du projet, en collaboration avec les responsables des différentes équipes métier impliquées. Il constitue une synthèse organisée des différents TIDP, qui sont les plans de livraison propres à chaque domaine (architecture, structure, CVC, etc.).

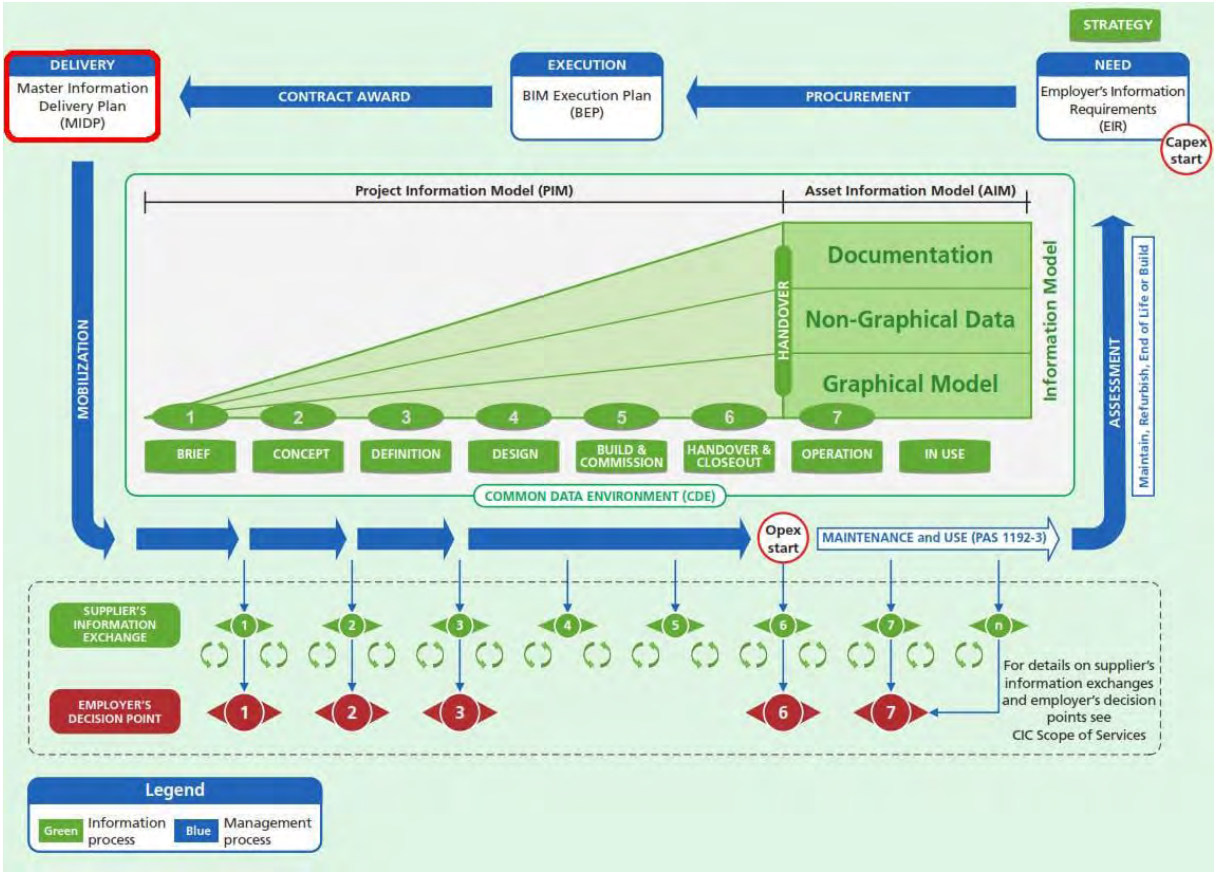


Figure 4.4 : Elaboration du MIDP

Source: evolve-consultancy.com

Dans le cadre d'un projet BIM, le maître d'ouvrage définit les exigences d'information (Project Information Requirements - PIR) dans l'EIR. En réponse, le maître d'œuvre (ou le contractant) détaille dans le BEP la manière dont ces exigences seront satisfaites.

Avant de lancer la production du PIM (Project Information Model), le contractant, en concertation avec le client, doit affiner le contenu du BEP et planifier précisément la production

et la livraison des informations, à travers les documents programmatiques que sont le MIDP et les TIDP.

Le TIDP est un plan détaillé élaboré par chaque chef de discipline. Il décrit les activités à réaliser, les livrables attendus et les responsabilités. Ces TIDP, une fois rassemblés, forment le MIDP, qui fournit une vision d'ensemble cohérente de la stratégie de livraison des données du projet.

Le MIDP est généralement rédigé dès la phase d'appel d'offres. Le client y définit un cadre général de livraison des informations, afin de guider le contractant dans l'élaboration d'un MIDP conforme à ses attentes. Chaque équipe métier devra alors fournir son propre TIDP, pour que ces contributions puissent être intégrées et coordonnées dans le MIDP global.

Le MIDP peut prendre la forme d'un tableau structuré (souvent sous forme de feuille Excel), listant les différents livrables, classés par discipline. Pour chaque livrable, le MIDP indique :

- la date de production et de livraison ;
- le responsable ;
- les modalités de partage via le CDE (Common Data Environment) ;
- le niveau de détail ou d'information requis (LOD/LOIN) ;
- les vérifications et validations à réaliser ;
- les destinataires de chaque information.

4.2. Les membres de l'équipe BIM

L'équipe BIM est constituée des représentants de chaque Contributeur BIM et du titulaire de la mission en BIM Management.

Le BIM Management du projet est assuré par un ou plusieurs BIM Managers Projet, en fonction de la taille du projet. Le maître d'ouvrage peut désigner son propre BIM Manager Projet pour assurer la direction du BIM Management. Chacune des entités identifiées comme Contributeur BIM désignera un BIM Manager pour participer à l'élaboration du BEP.

Les contributions des divers intervenants au BIM sont réalisées par des Producteurs BIM et coordonnées au sein de chaque entité par un Coordinateur BIM. Au sein d'une entité, les rôles de BIM Manager et de Coordinateur BIM peuvent être confondus.

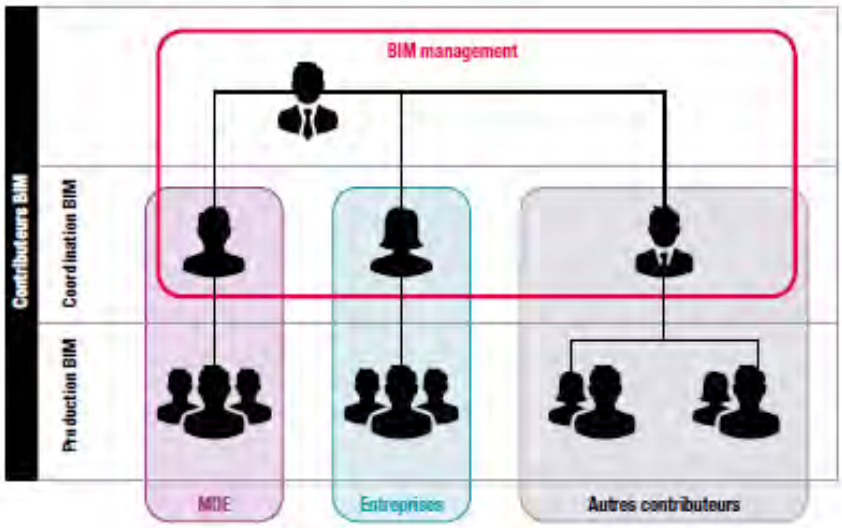


Figure 4.5 : Equipe BIM une fois la convention élaborée (exemple)

Source: Guide Mediaconstruct Comment rédiger une convention BIM ?

4.2.1. BIM Management

Le BIM Management joue un rôle crucial dans la conduite du projet BIM, notamment en ce qui concerne l'élaboration de la Convention BIM (BEP). Cette mission peut être plus ou moins formalisée en fonction du type de contrat et de la relation avec le donneur d'ordre.

Voici quelques points essentiels concernant le rôle du BIM Management dans l'élaboration de la Convention BIM :

- Élaboration et Rédaction de la Convention BIM :

  Le BIM Management est responsable de la rédaction de la Convention BIM en collaboration avec toutes les parties prenantes du projet. Cette convention fixe les règles et les processus à suivre pour garantir la réussite du projet BIM.
- Mise à Jour de la Convention :

  La Convention BIM est un document vivant qui peut être mis à jour à chaque étape du projet, selon les modifications du programme, des objectifs BIM ou des intervenants.
- Coordination avec les Parties Prenantes :

  Le BIM Management travaille en étroite collaboration avec tous les contributeurs BIM du projet pour assurer que leurs contributions soient cohérentes et respectent les objectifs définis. Les parties prenantes qui souhaitent participer au processus peuvent adhérer à la Convention BIM.

- Identification des Outils et des Processus :

  Un des rôles du BIM Management est de définir les outils numériques qui seront utilisés dans le projet (logiciels, formats, etc.). Il est également responsable de la mise en place des processus nécessaires pour garantir la bonne gestion des données et des livrables.
- Définition des Rôles des Contributeurs BIM :

  Le BIM Management clarifie les rôles et responsabilités des différents intervenants, qu'il s'agisse des BIM Managers, des coordinateurs, ou des autres acteurs, afin de s'assurer que chaque contribution soit conforme aux objectifs du projet.

En résumé, le BIM Management assure la cohérence de la démarche BIM, facilite la collaboration entre les acteurs, et veille à ce que la Convention BIM soit respectée tout au long du projet.

4.2.1.1. BIM Manager Projet

L'équipe BIM est composée des représentants de chaque Contributeur BIM ainsi que du responsable de la mission de BIM Management. Selon la taille du projet, le BIM Management est assuré par un ou plusieurs BIM Managers Projet. Le maître d'ouvrage peut choisir de nommer son propre BIM Manager Projet pour diriger cette mission. Chaque Contributeur BIM désigne également un BIM Manager pour participer à l'élaboration de la Convention BIM. Les contributions des différents acteurs au BIM sont réalisées par des Producteurs BIM et sont coordonnées au sein de chaque entité par un Coordinateur BIM. Dans certaines entités, les fonctions de BIM Manager et de Coordinateur BIM peuvent être assumées par la même personne.

4.2.1.2. BIM Manager Contributeur

Il est chargé de définir la stratégie BIM au sein de son entité et en assure la coordination. En tant que référent pour l'élaboration de la Convention BIM du projet, il veille à ce que son équipe respecte les exigences BIM. Il évalue le niveau de maturité des membres de son entité et veille à leur fournir la formation nécessaire pour atteindre les objectifs du projet.

4.2.1.3. Coordinateur BIM

Il supervise la section du projet traitée en BIM au sein de son entité. Il pilote et vérifie les modèles BIM en fonction des contrôles qualité établis dans la Convention BIM. Avec le BIM

Manager Contributeur, il est responsable de garantir la production BIM conforme aux attentes du projet.

4.2.1.4. Producteur BIM

Son rôle et son champ d'action sont principalement orientés vers la production. En suivant les recommandations et les directives de la coordination BIM, il conçoit et modélise les ouvrages, en produisant les modèles d'information 3D et les plans requis à chaque étape du projet.

Il peut également être amené à fournir d'autres types de contributions (calculs, qualification des données, spécifications des nomenclatures, etc.), qui sont intégrées dans la maquette. En outre, il génère les données numériques du projet et veille à la réalisation des livrables définis dans la Convention BIM à chaque phase.

4.2.2. Les rôles du BIM Management

Le BIM Management joue un rôle crucial dans la coordination et la gestion du processus BIM tout au long du projet. Voici une synthèse de ses responsabilités principales :

- Gestion de l'échange d'informations : Organiser et superviser l'échange d'informations entre les différents acteurs du projet.
- Présentation de l'équipe de BIM Management : Cette présentation peut se faire sous différentes formes comme des PowerPoint, des réunions de lancement ou des livrets d'accueil.
- Traduction des Objectifs BIM en cas d'usages spécifiques : Appliquer ces objectifs aux différents cas d'usage BIM du projet.
- Élaboration et suivi de la Convention BIM : Assurer la mise en place et la mise à jour de la Convention BIM tout au long du projet.
- Contrôle des cas d'usages BIM : Vérifier que les cas d'usage sont respectés et réaliser les contrôles BIM nécessaires.
- Supervision des modèles virtuels : Coordonner la création des modèles et garantir qu'ils sont en accord avec les standards BIM du projet.
- Gestion de la coordination des données : Assurer l'intégration et la gestion des données échangées entre les différents intervenants.

- Définition des standards BIM communs : Élaborer des standards BIM partagés tout en respectant les spécificités des différents métiers impliqués.
- Vérification du respect des standards et des procédures : S'assurer que les procédures et standards BIM sont appliqués correctement.
- Formation et accompagnement : Organiser et mettre en place des formations pour les plateformes de partage et aider les acteurs à s'adapter aux outils utilisés.
- Codification des fichiers échangés : Mettre en place une codification des fichiers et garantir la traçabilité des échanges.
- Choix et maintien des logiciels utilisés : Définir et garantir la cohérence des outils logiciels utilisés par les parties prenantes.
- Promotion de l'interopérabilité : Encourager l'interopérabilité entre les différentes applications utilisées par les équipes.

Le rôle du BIM Management se limite cependant à la gestion des aspects techniques et organisationnels du BIM, sans intervenir dans la conception, la synthèse ou la réalisation directe du projet. Ses responsabilités incluent la bonne application des usages BIM, la structuration des modèles et des données, et la traçabilité des échanges, sans prendre en charge la conformité de la conception aux exigences du projet.

4.2.3. La maturité des intervenants

4.2.3.1. Du BIM Management

L'équipe de BIM Management doit être en mesure de justifier du niveau de maturité BIM de l'équipe engagée sur le projet, au moins sur les thématiques suivantes :

- Les enjeux d'un projet BIM : Compréhension des aspects fondamentaux et des objectifs d'un projet BIM.
- Les informations des objets : Connaissance des types de données et informations associées aux objets BIM.
- Les formats de fichiers BIM : Maîtrise des formats de fichiers BIM tels que IFC, BCF, etc.
- Adoption des logiciels : Le niveau d'adoption des logiciels BIM par les contributeurs.
- Les étapes d'un projet : Connaissance des différentes étapes d'un projet de construction, de la programmation à la fin de vie (ou au moins pendant la phase où l'équipe de BIM Management intervient).

- La gestion de projet : Maîtrise de la gestion et de la direction des projets de construction.
- Outils de détection de conflits : Compréhension des logiciels utilisés pour la détection des conflits dans les modèles BIM.
- Gestion des interfaces : Expérience dans la gestion des interfaces entre les différents corps d'état et équipes.
- Plateformes collaboratives BIM : Connaissance du fonctionnement des plateformes collaboratives BIM.
- Formation et sensibilisation au BIM : Capacité à former et à sensibiliser l'équipe au BIM.

Ces compétences peuvent être détenues par une seule personne ou réparties parmi les membres de l'équipe de BIM Management.

4.2.3.2. Des Contributeurs BIM

La mise en œuvre du BIM sur un projet doit tenir compte des compétences et du niveau de maturité des Contributeurs BIM. À cette fin, le BIM Management doit évaluer ces éléments à travers des méthodes d'évaluation adaptées.

Plusieurs approches sont possibles pour mesurer la maturité BIM des acteurs impliqués :

Évaluation de la mise en œuvre du BIM sur des projets passés : En analysant les projets précédents, il est possible de mesurer l'efficacité du BIM dans des contextes similaires.

Évaluation de la maturité BIM de l'organisation : Cela peut inclure l'évaluation des pratiques BIM au sein de l'entreprise ou de l'équipe à l'aide de méthodologies comme BIMmétric ou BIM Maturity Measure.

Cette phase d'évaluation est essentielle pour repérer les écarts potentiels entre les membres du projet et permettre la mise en place d'actions pour harmoniser ou améliorer le processus BIM. Cela pourrait impliquer des actions comme des formations, des ajustements de processus ou une adaptation des outils utilisés, selon les résultats de l'évaluation.

4.3. Objectifs et Usages BIM[3]

4.3.1. Objectifs BIM

4.3.1.1. L'importance de définition des Objectifs BIM

Pour chaque projet, il est primordial de définir clairement les objectifs que le maître d'ouvrage souhaite atteindre. Sans objectifs précis et bien définis, il devient difficile d'assurer la qualité du processus BIM, car celui-ci repose entièrement sur ces objectifs. Ces derniers constituent la base pour définir les Usages BIM, qui détermineront à leur tour les flux de travail nécessaires pour obtenir les résultats attendus.

Cela met en évidence l'importance de la phase de définition des objectifs dès le début du projet, car elle guide toutes les étapes du développement et de l'exécution du BIM.

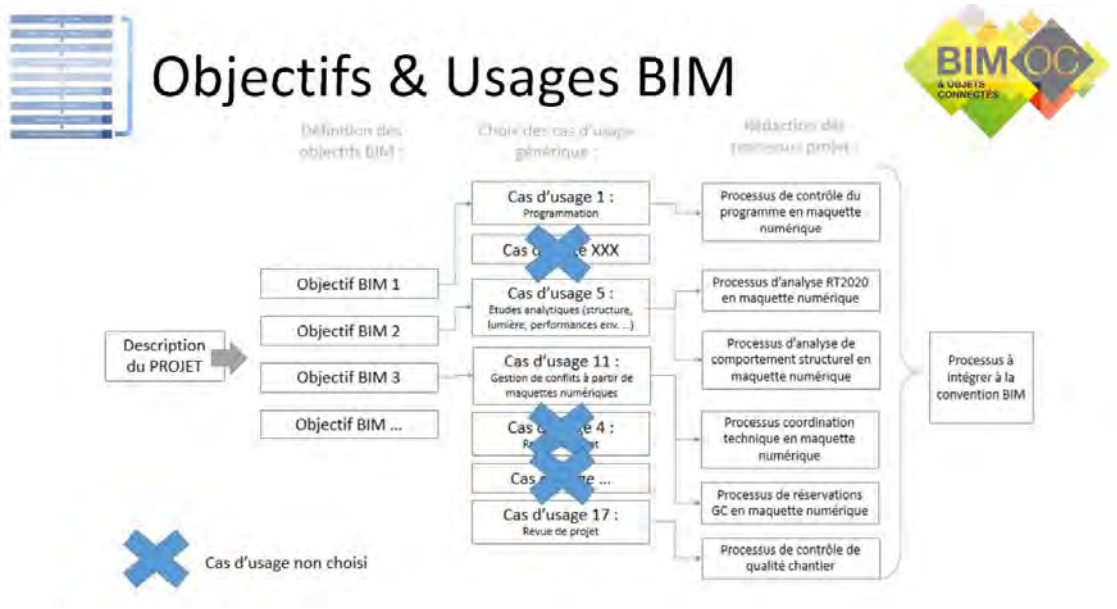


Figure 4.6 : Objectifs et usages BIM

Source: Mediaconstruct

4.3.1.2. Comment obtenir les objectifs BIM ?

Les objectifs BIM peuvent être définis par le maître d'ouvrage dans son Cahier des Charges BIM. Cette liste d'objectifs peut être complétée par ceux de certaines parties prenantes du projet, en fonction des usages spécifiques.

[3] Cette partie est élaborée en s'appuyant sur le Guide de convention BIM par BuildingSMART Mediaconstruct

En l'absence de cahier des charges, les objectifs BIM et leur ordre de priorité seront définis par le BIM Management, en collaboration avec la direction de projet, en fonction des exigences du marché et du programme de l'opération.

Le BIM Management proposera alors une liste d'objectifs BIM en se posant, par exemple, les questions suivantes :

Qu'attendez-vous du BIM pour ce projet ?

- Anticiper la réglementation
- Communiquer et visualiser facilement le projet (3D, immersion 3D)
- Réduire les erreurs de conception (et donc les travaux supplémentaires)
- Réduire les erreurs de réalisation (et améliorer la qualité)
- Mieux maîtriser le planning
- Mieux maîtriser le coût de construction
- Etc.

Quelles informations souhaitez-vous retrouver dans les modèles que vous souhaitez développer ?

En conception :

- Données techniques de base
- Données liées aux performances (structurales, thermiques, environnementales, énergétiques, etc.)
- Etc.

En exécution :

- Données des produits (matériaux et matériels utilisés)
- Données liées à l'avancement du chantier
- Etc.

En exploitation :

- Données techniques des systèmes
- Quantités clés
- Données d'entretien
- Etc.

En fin de vie :

- Métrés des matériaux à déconstruire
- Etc.

Comment voulez-vous être associé aux objectifs BIM du projet ?

- Simple observateur
- Lecteur
- Contrôleur
- Contributeur
- Etc.

Voici certains objectifs des projets de construction qui pourraient être facilités grâce à l'utilisation de la démarche BIM :

- Assurer la traçabilité des décisions et interventions (qui ? quoi ? quand ? pourquoi ?)
- Communiquer autour de la maquette (visite virtuelle, réalité augmentée)
- Maîtriser les risques
- Améliorer la qualité de la conception
- Documenter plus précisément le projet "As-Built" pour le gestionnaire/exploitant
- Améliorer la performance en termes de durabilité/qualité environnementale
- Estimer plus rapidement les impacts des changements de conception (coûts, délais, performances…)
- Améliorer la productivité lors de la phase de chantier

- Réduire les coûts d'exploitation.

Le BIM Management aura pour mission d'associer ces objectifs aux Usages BIM afin de développer les processus d'exécution BIM. Cela demande donc une bonne compréhension de ces concepts.

4.3.1.3. Hiérarchiser les Objectifs BIM

En fonction du nombre et de l'importance des Objectifs BIM retenus, il sera nécessaire de les prioriser soit en fonction de leur importance, soit en fonction de leur phase de projet. La hiérarchisation des Objectifs BIM est une tâche dont le BIM Management doit s'occuper en concertation avec la direction du projet.

Les Objectifs BIM doivent ensuite être classés selon deux critères :

- Priorité de réalisation
- Phase de réalisation

Le BIM Management pourra alors définir quels sont les Usages BIM associés aux Objectifs BIM.

Objectifs BIM	Priorité (1 à 3)	ESQ	APS	APD	PRO	DCE	EXE	EXPL	DEM	Usages BIM liés (Cf. 12.2. page)
Performance de conception	1			✘	✘	✘	✘			03, 05, 07, 06, 11, 20
Performance énergétique	1				✘	✘	✘	✘	✘	08, 15
Maîtrise des coûts	1			✘	✘	✘	✘	✘	✘	09, 10, 12
Aide à la décision	1			✘	✘	✘				10
Support de communication	2			✘	✘	✘	✘			04, 07
Maintenabilité de l'ouvrage	2						✘	✘	✘	15, 17, 20

Tableau 4.1 : Hiérarchisation des objectifs BIM (exemple)

Sources : Guide Mediaconstruct Comment rédiger une convention BIM ?

4.3.2. Usages BIM

Afin d'améliorer la communication au sein de l'industrie de la construction, il est crucial d'établir un langage uniforme pour décrire l'usage spécifique du BIM dans un projet.

Un Usage BIM peut être défini comme « *une méthode d'application du BIM au cours du cycle de vie d'un ouvrage pour atteindre un ou plusieurs objectifs spécifiques* ».

Les Usages BIM choisis pour un projet sont actualisés à chaque phase, que ce soit la programmation, la conception, la construction ou l'exploitation/maintenance. Un Usage BIM peut couvrir l'intégralité ou une partie des différentes phases du projet.

Bouygues Immobilier, sur la base des démarches mises en place pour la valorisation de ses projets à travers l'utilisation du BIM, a identifié plusieurs objectifs généraux qui se traduisent dans les cas d'usages BIM suivants :

Objectif BIM	Cas d'Usage BIM
Optimiser la conception dans le respect du programme et dans les limites du budget	Visualiser la conception en 3D
	Définition, analyse et vérification du programme
	Extraction des quantités et valeurs significatives
Etudier le rapport de la construction dans son contexte	Modélisation du site/des données existantes
	Analyse du site
Implémenter la coordination et la cohérence du projet	Production des livrables à partir des maquettes numériques
	Gestion des conflits à partir des maquettes numériques
Fiabiliser le transfert d'information parmi les intervenants et fluidifier les échanges	Mise en place d'une plateforme d'échange
	Mise en place d'un outil pour échanger sur les modèles et supporter les revues de projet

Tableau 4.2 : Objectifs et cas d'Usage BIM (exemple)

Sources : Bouygues Immobilier

Les Usages BIM "génériques" ont pour objectif de couvrir une ou plusieurs phases du projet. Cependant, les Usages BIM choisis et mis en œuvre dans le projet (sous forme de "processus projet") seront réalisés selon des temporalités propres au projet.

Ces temporalités des Usages peuvent être précisées dans la Convention BIM, sous forme de chronologie ou de tableau. Cela permet de visualiser la répartition et la durée des Usages BIM par phase du projet.

Des listes d'Usages BIM sont proposées par des organismes tels que buildingSmartFrance ou BIMmétric. Toutefois, ces listes ne sont pas complètes. Il incombe au BIM Management de créer de nouveaux Usages BIM ou de les ajuster en fonction des Objectifs BIM du projet et des parties prenantes.

Programmation	Conception	Construction	Exploitation/Maintenance
Modélisation des données existantes			
Analyse des couts (Extraction des quantités, 5D)			
Planification 4D			
Programme			
Analyse du site			
Revue de conception			
Consolidation de la maquette numérique			
	Modélisation de la conception	Modélisation de réalisation	
	Modélisation des composants		
	Analyse énergétique d'exploitation		
	Modélisation analytique (structure, lumière, énergie…)		
	Performance environnementale (LEED, BREAM, HQE…)		
	Analyse d'éclairement		
	Production des livrables 2D		
	Classification (Codification)		
	Coordination 3D		
	Planification de chantier		
	Conception de systèmes de construction (Méthodes)		
	Préfabrication		
		Planification et contrôle 3D (géolocalisation opérationnelle)	
		Plateforme de gestion et de suivi sur site	
			Plan prévisionnel de maintenance
Cas d'usages primaires			Analyse systémique du bâtiment
Cas d'usage secondaires			Gestion des actifs
			Gestion des espaces et occupation
			Plan d'urgence et de sécurité

Tableau 4.3 : Chronologie des usages BIM

Sources : Guide Mediaconstruct Comment rédiger une convention BIM ?

4.3.3. Objectif métier, usage et cas d'usage BIM

Un objectif métier (ou cas d'usage métier) désigne un processus qui décrit une activité de gestion de projet, tel que :

- La production des métrés et des quantitatifs.
- La revue de la satisfaction des exigences de performance de l'ouvrage.

- Le suivi de l'avancement du chantier.
- La synthèse.
- Etc.

Il s'agit d'un processus traditionnel dans un projet de construction, dont la portée est clairement compréhensible par la direction du projet.

Un usage BIM (ou procédé BIM) représente un processus élémentaire qui utilise des technologies numériques, telles que :

- Modélisation 3D.
- Étude des variantes et gestion des configurations.
- Planification 4D.
- Contrôles automatisés pour le suivi de l'avancement.
- Etc.

Ce processus est mis en œuvre par les contributeurs au processus BIM, sous la supervision de l'équipe de BIM management. Les usages BIM doivent servir à atteindre les objectifs métier. Chaque objectif métier peut nécessiter plusieurs usages BIM pour être pleinement atteint.

Un cas d'usage BIM est une description détaillée d'un processus unitaire intégrant des pratiques BIM, tel qu'il sera mis en œuvre sur un projet. Cela permet de décrire de manière factuelle (plus réaliste) les usages prévus des maquettes numériques, les interactions des différents acteurs avec cette base de données, ainsi que des actions métiers spécifiques. Un usage BIM se décompose en plusieurs cas d'usage BIM, représentant des actions et/ou des sous-processus qui sont assemblés de manière à être réalisés dans le cadre d'un ou plusieurs usages BIM en fonction des objectifs métiers visés.

La définition des cas d'usage BIM permet de décrire précisément les processus numériques attendus, les interactions et interventions des différents acteurs, pour les activités des métiers de la construction couvrant l'ensemble du cycle de vie du projet.
Les usages BIM peuvent être déclinés en autant de cas d'usage qu'il y a de phases, de types de projet, de contributeurs, etc.

PRG	Programmation (MOA)	ETU	Conception (toutes phases)	TVX	Réalisation des travaux	LIV	Livraison de l'ouvrage	GEM	Exploitation-Maintenance	BIM	Usages BIM clés
O1	Connaissance du patrimoine existant	01	Constitution d'une base de connaissance unifiée, actuelle et partagée du TelQueConçu	01	Constitution d'une base de connaissance unifiée, actuelle et partagée du TelQueConstruit	01	Documentation du TelQueRéceptionné	01	Constitution d'une base de connaissance unifiée, actuelle et partagée du TelQueMaintenu	01	Structuration des données
O2	Instruction et approbation du projet	02	Développement concourant des études multi-métiers (AVP/PRO/EXE/Méthodes)	02	Suivi (MOA) de l'avancement et de la qualité de la réalisation	02	Opérations préalables à la réception	02	Optimisation des processus de l'exploitant et du mainteneur	02	Modélisation
O3	Concertation et acceptabilité du projet	03	Prise en compte des exigences de l'exploitant et du mainteneur	03	Développement et validation des dispositions constructives	03	Production des livrables et pièces graphiques	03	Alimentation de la BD Patrimoine et des processus GMAO	03	Validation des données
O4	Elaboration du dossier de consultation MOE	04	Gestion de la temporalité du projet (séquençage, ouvrages temporaires)	04	Gestion du séquençage des opérations	04	Récolement du TelQueConstruit	04	Formation et Immersion	04	Gestion des incohérences et des interférences
		05	Synthèse générale, analyse et suivi des interfaces	05	Gestion du séquençage de la préfabrication	05	Alimentation DOE-DIUO			05	Génération des plans
		06	Production des métrés et des quantitatif	06	Production des plans BPE					06	Planification 4D
		07	Maîtrise des coûts	07	Alimentation consignes de guidage des engins					07	Revue à l'aide du BIM
		08	Alimentation des outils de simulation	08	Préparation chantier & maîtrise du risque en réalisation						
		09	Revue de satisfaction des exigences de performance de l'ouvrage	09	Logistique (hors site / sur site)						
		10	Revue de satisfaction des exigences réglementaires de l'ouvrage	10	Contrôle Externe / Contrôle Extérieur						
		11	Revue de développement du projet (délai / coûts / moyens)	11	Accessibilité et Ergonomie du poste de travail						
		12	Revue des études techniques								
		13	Revue des études de phasage								
		14	Gestion de configuration des variantes								
		15	Gestion des Ordres de Modification (Change Order)								
		16	Contrôle Externe / Contrôle Extérieur								
		17	Consolidation (MOA) de la définition des travaux à réaliser (pré-DCE)								
		18	Elaboration dossier de consultation des entreprises								

Tableau 4.4 : liste des objectifs métiers et des usages BIM

Sources : Guide Mediaconstruct Comment rédiger une convention BIM ?

Chapitre 5 : Le travail collaboratif autour du BIM

5.1. Introduction

5.2. Maquette BIM et projet collaboratif

5.3. Les plateformes collaboratives BIM (CDE)

5.4. Travail collaboratif en OPEN BIM

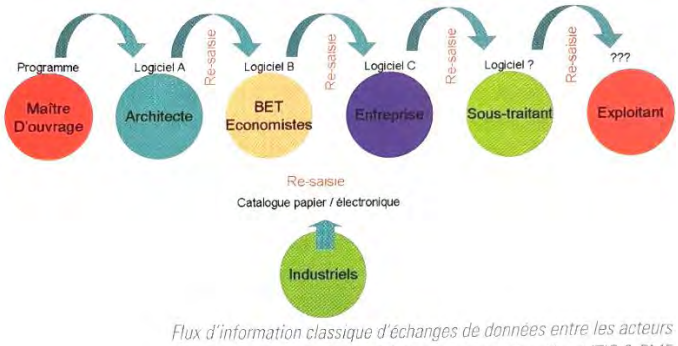
5.5. La gestion de workflows

Chapitre 5 : Le travail collaboratif autour du BIM

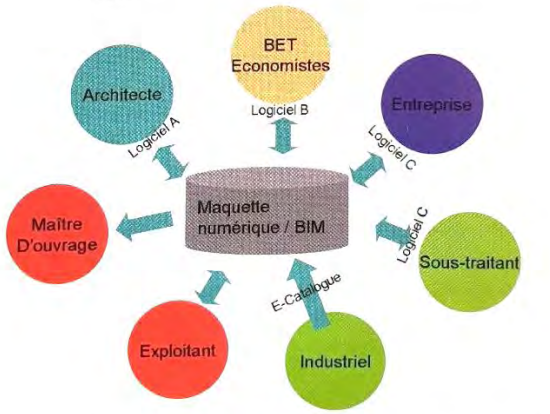
5.1. Introduction

Le cycle de vie d'un projet de construction est traditionnellement basé sur une séquence d'acteurs travaillant avec des logiciels différents. 80 % du temps est passé à des taches de ressaisies. La logique du BIM est d'utiliser un unique référentiel pour toutes les applications et tous les acteurs (le format IFC). Le partage des informations entre acteurs d'un même projet se fait dans le cadre d'une plateforme internet dédiée hébergeur de la maquette numérique.

Avec l'émergence du BIM, les efforts des acteurs du projet pour favoriser le travail collaboratif sont devenus de plus en plus importants afin d'obtenir une meilleure qualité de conception. Dans un projet de construction, les membres de l'équipe de projet sont issus de diverses disciplines, telles que l'architecture, le génie civil et l'électrique. Des difficultés immédiates peuvent survenir en raison de l'incompatibilité des données, ou du manque d'interopérabilité dans le processus d'échange de données relatives aux différentes disciplines (Lai, Deng, & Chang, 2019). Cela représente un défi majeur pour les concepteurs et les chercheurs dans l'industrie de la construction (Bynum, Issa, Olbina, & management, 2013). Afin de faciliter les échanges et le partage de données entre les différents acteurs du projet, il était nécessaire de développer des méthodes collaboratives. Toutefois, le développement des outils informatiques n'a pas favorisé l'essor des méthodes collaboratives (Nagy et al., 2015). Ces dernières doivent répondre aux exigences économiques, environnementales et énergétiques.



Flux d'information classique d'échanges de données entre les acteurs d'un projet de construction. Schéma issu du projet eXpert (TIC & PME 2010).



Échanges autour d'une maquette numérique de bâtiment (BIM). Schéma issu du projet eXpert (TIC & PME 2010).

Figure 5.1 : le partage d'information dans un projet de construction avec et sans le BIM

Sources : Nagy et. al (2015)

5.2. Maquette BIM et projet collaboratif

Le développement de la maquette numérique constitue une négociation créative entre les trois acteurs impliqués.

Les performances d'une maquette BIM doivent se traduire par quatre axes principaux :

- Encourager de nouvelles méthodes de conception plus collaboratives.
- Redéfinir les relations entre les différentes professions.
- Faciliter l'adoption de nouvelles techniques de construction.
- Proposer de nouvelles formes de représentation.

Dans une maquette BIM, chaque membre de l'équipe projet génère des informations destinées aux autres intervenants, qui peuvent :

- Lire
- Annoter
- Vérifier

- Valider
- Mettre à jour

La maquette BIM favorise la collaboration entre concepteurs et industriels. La modélisation paramétrique permet d'évaluer avec précision les dimensions, d'optimiser les modèles géométriques et de calculer les quantités de matériaux nécessaires. Elle facilite également la préfabrication.

5.3. Les plateformes collaboratives BIM

Le processus BIM exige la mise en place de procédures de partage des données. En raison de la fréquence des échanges et du volume de données partagées, l'utilisation des e-mails n'est pas suffisante, ni en termes de capacité ni en termes de traçabilité.

Il est donc essentiel de déployer des solutions dédiées à la gestion de l'information, telles que des "plateformes". Les plateformes collaboratives sont des outils BIM qui offrent des services basés sur le web pour gérer la collaboration dans les projets. Elles sont utilisées pour centraliser la communication et les échanges de données liés au projet. Elles fournissent un Environnement Commun de Données (CDE). Leur principal avantage réside dans la structuration uniforme de la gestion des projets (éventuellement même entre plusieurs projets).

Un Environnement Commun de Données (CDE, pour Common Data Environment en anglais) centralise les données partagées du projet et permet à chaque acteur d'y accéder. La mise en place d'un CDE est une étape indispensable pour la bonne réalisation du BIM sur un projet.

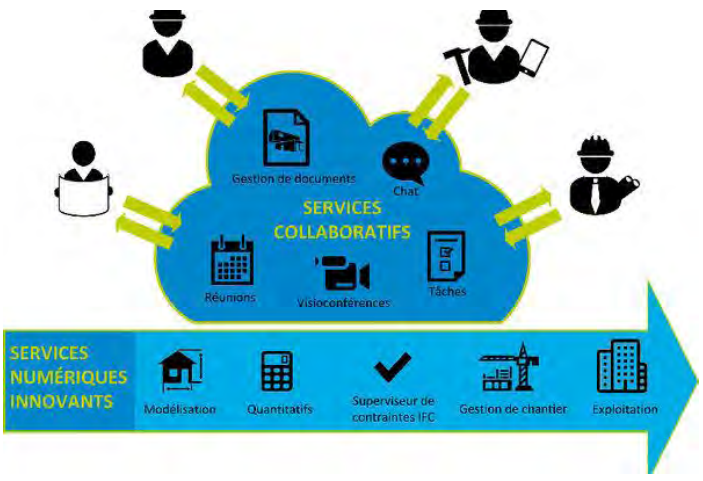


Figure 5.2 : les services offerts par une plateforme collaborative

Sources : cahiers-techniques-batiment.fr

5.3.1. Environnement commun des données (CDE)

Les CDE sont utilisés pour la gestion de l'information des projets et des propriétés. En tant qu'espaces centraux pour le stockage et l'échange de toutes les informations du projet avec tous les participants, ils consolident l'ensemble des connaissances liées au projet et les rendent rapidement accessibles. Ils offrent un accès contrôlé (dépendant de la personne et spécifique au rôle) aux informations du projet, des processus d'échange clairement définis, ainsi qu'un statut clairement établi pour les documents et les modèles. Les modifications et révisions sont enregistrées, ce qui garantit la transparence de la communication et améliore l'échange d'informations.

La norme ISO 19650 décrit le concept d'un CDE. Selon cette norme, un CDE doit prendre en charge trois états différents pour les conteneurs d'information :

- EN COURS DE TRAVAIL (WORK IN PROGRESS)
- PARTAGÉ (SHARED)
- PUBLIÉ (PUBLISHED)

En outre, un conteneur d'archives (ARCHIVED) doit être disponible pour enregistrer toutes les opérations des autres conteneurs d'information sous forme de journal (journal des conteneurs d'information partagés et publiés). Cela permet le développement d'un modèle d'information combiné et collaboratif.

De plus, une sécurité complète des données doit être garantie, et les échanges d'informations doivent être vérifiés par des autorités de contrôle. Lors du transfert d'informations, les données doivent être versionnées et consignées.

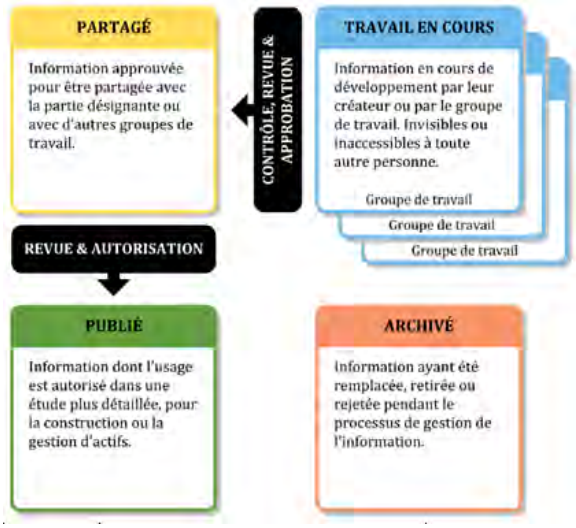


Figure 5.3 : CDE selon la norme ISO 19650

Sources : axeobim.fr

Des exemples de plateformes de collaboration typiques actuellement utilisées dans les projets pour une collaboration de haut niveau incluent Aconex d'Oracle, ainsi que Conclude CDE et tpCDE de Thinkproject. Pour une collaboration au sein d'un domaine spécifique, des plateformes de collaboration intégrées sont parfois utilisées, telles qu'Autodesk BIM 360, ACC ou Graphisoft BIMcloud.

5.3.2. Les caractéristiques d'une plateforme CDE

Une plateforme collaborative CDE doit répondre à une série de caractéristiques techniques pour soutenir efficacement le développement d'un projet :

- Mobilité : Accessibilité depuis des appareils mobiles, des ordinateurs portables, ou des postes de travail, avec prise en charge des navigateurs Web.
- Simplicité et convivialité : Interfaces modernes et intuitives, incluant des fonctionnalités comme le glisser-déposer de fichiers.
- Gestion des fichiers : Accès facile aux documents, synchronisation rapide et partage fluide.
- Amélioration de la productivité : Options pour modifier les attributs des documents, gérer les annotations, les tags et les notes.
- Collaboration : Création d'environnements partagés pour l'édition collaborative et suivi des actions effectuées.
- Gestion du contenu : Classification des métadonnées, recherche optimisée et traçabilité complète via une piste d'audit.
- Flux de travail : Définition des processus d'actions sur les fichiers, notifications de tâches et gestion des droits d'accès.
- Sécurité et protection des données : Sécurisation des appareils connectés, des fichiers en transit et des documents stockés.
- Intégration : Compatibilité avec les standards CMIS (Content Management Interoperability Services) et les outils de conception.

- Stockage des données : Mise en place d'un référentiel centralisé pour la documentation et d'espaces de stockage dédiés à chaque utilisateur.

5.3.3. Le Choix d'une plateforme collaborative CDE

Le choix d'un Environnement Commun de Données (CDE) repose sur deux aspects principaux :

- Un environnement de gestion de l'information : Ce volet concerne la gestion des données et des documents. Cela peut inclure des serveurs de dépôt de fichiers tels que Drive ou Dropbox, des solutions de Gestion Électronique de Documents (GED), des outils d'intégration de données ou une combinaison de ces options. Cet aspect garantit la cohérence des informations et des fichiers tout en facilitant le partage et la collaboration entre les acteurs.
- Un environnement de gestion de projet : Ce volet concerne la gestion des calendriers, des plannings, l'attribution des tâches, les tableaux de bord, etc. Il est indispensable pour assurer le bon déroulement du processus BIM, en parfaite cohérence avec les étapes du projet.

Certaines solutions permettent de gérer simultanément ces deux aspects : centralisation des données et gestion de projet. Ces solutions intégrées présentent l'avantage de favoriser la continuité et l'intégration entre les données de l'ouvrage et celles du projet, tout en simplifiant l'environnement des outils utilisés pour le projet.

Les éléments constitutifs d'un Environnement Commun de Données (CDE) sont définis dans la Convention BIM associée à un projet. Les principaux points à considérer sont :

- Identifier l'ensemble des solutions utilisées pour la gestion de l'information dans le cadre du projet.
- Définir l'environnement spécifique de management de l'information choisi pour le projet.
- Déterminer l'environnement de gestion de projet, si celui-ci diffère de celui dédié à la gestion de l'information.

Par la suite, les règles applicables doivent être détaillées dans la Convention BIM ou dans des documents spécifiques annexés. La Convention BIM doit au minimum inclure les éléments suivants :

- Les administrateurs responsables et les règles d'administration de l'environnement.
- Les profils des acteurs et leurs droits d'accès, détaillés selon le niveau de granularité requis (répertoires, modèles, documents, fichiers, objets, propriétés).
- Les procédures d'accès, de collaboration et d'échange, incluant la fréquence, les obligations, ainsi que les circuits de validation et de diffusion.
- Les protocoles de contrôle, validation et diffusion pour les données, modèles, fichiers et documents.

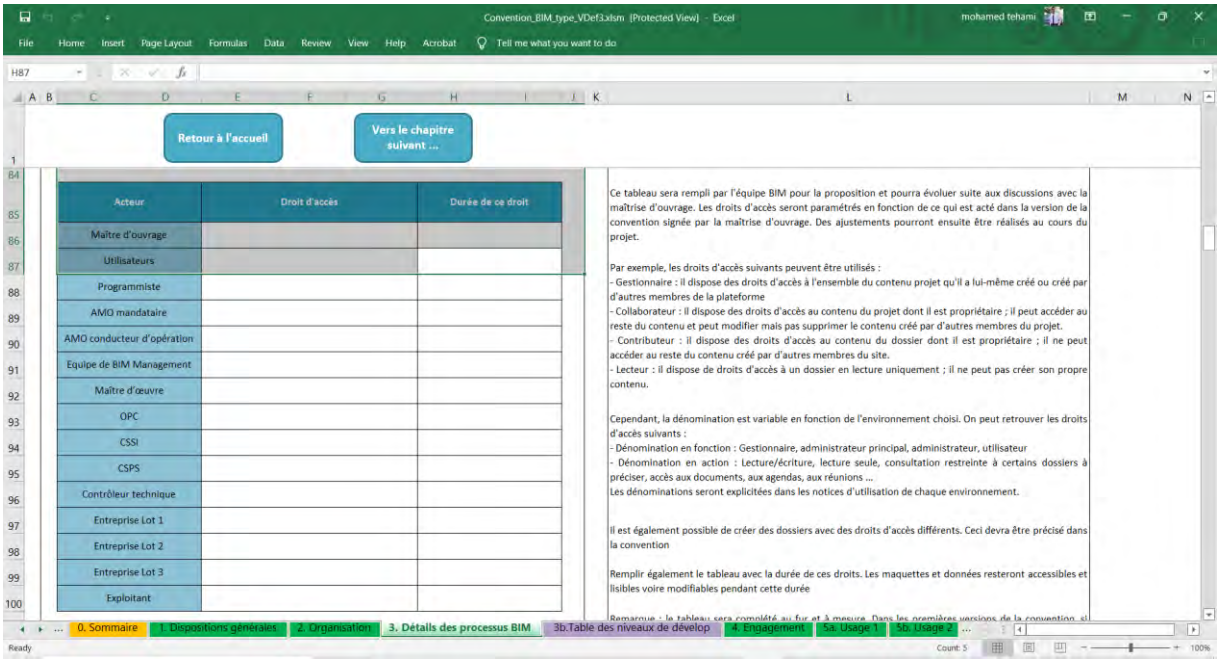


Figure 5.4 : Exemple des prescriptions CDE dans une convention BIM

Source : PTNB Convention BIM type

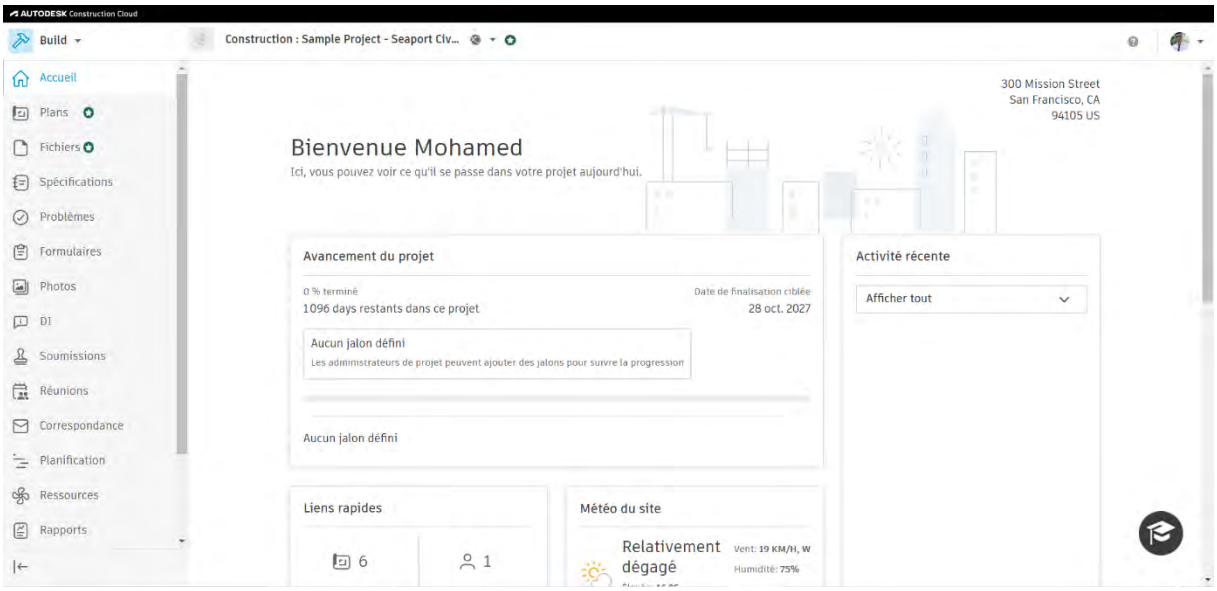


Figure 5.5 : Autodesk construction cloud ACC - la plateforme collaborative BIM

Source : https://construction.autodesk.com/

5.4. Travail collaboratif en OPEN BIM

Le travail collaboratif en OPEN BIM favorise l'interopérabilité, assuré par des standards ouverts et neutres, au profit d'une meilleure qualité des projets.

L'Interopérabilité est l'élément clé dans le travail collaboratif. Ça consiste dans la capacité d'échanger des données entre les applications pour rationaliser les flux de travail et faciliter l'automatisation (C. M. Eastman et al., 2011). C'est un processus collaboratif intense entre trois types d'acteurs, leurs savoirs, et leurs savoir-faire.

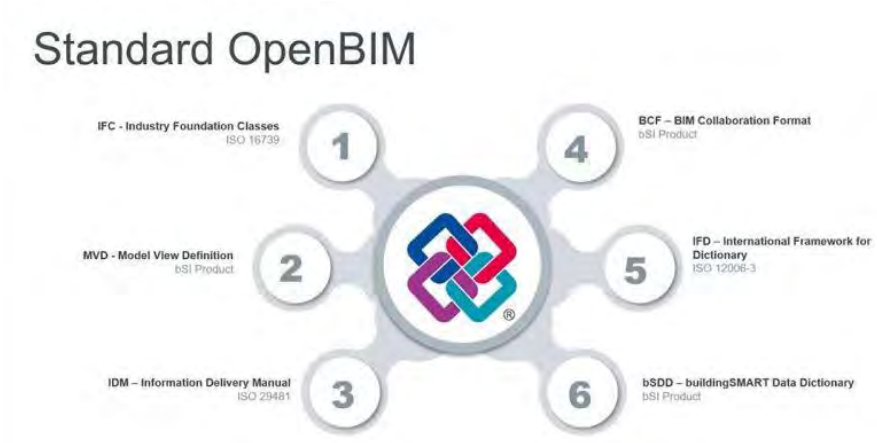


Figure 5.6: les éléments du Standard Open BIM

Source: biblus.accasoftware.com

C’est justement pour ces raisons que le BIM doit s’appuyer sur un langage universel, des standards bien définis et des flux de travail (workflows) ouverts. Ces éléments garantissent que les différentes parties prenantes peuvent échanger efficacement leurs données et informations.

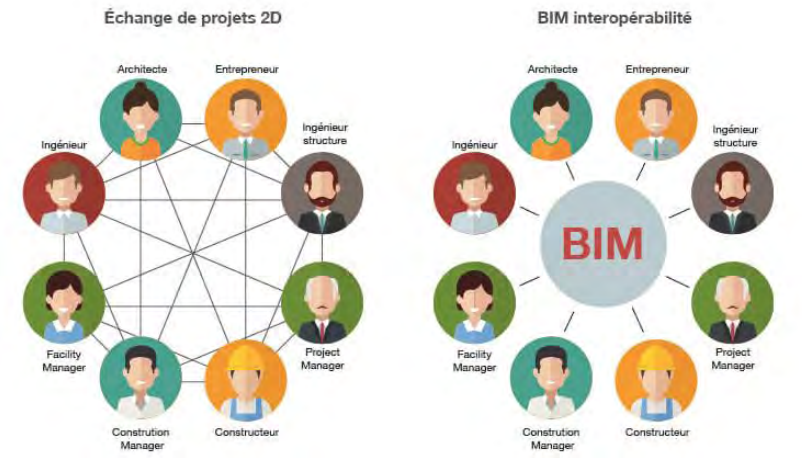


Figure 5.7 : Différence dans l’échange de données entre la CAO et le BIM

Source : biblus.accasoftware.com

Le format d’échange principal en CAO est le DXF (et parfois le DWG). Cependant, le BIM nécessite un format capable de transférer non seulement des données géométriques, mais également les attributs et paramètres associés à la maquette numérique. Pour répondre à ce besoin, l’IFC (Industry Foundation Classes) a été créé par la BuildingSMART Alliance pour faciliter l’échange de données entre différents logiciels BIM (Thomassen, 2011).

L’IFC repose sur le langage ISO-STEP EXPRESS (Eastman et al., 2011) et est conçu pour couvrir l’ensemble des informations relatives au bâtiment, depuis la conception jusqu’à l’exploitation, en passant par la construction (Norberg, 2012). Ce format constitue un pilier essentiel du travail collaboratif en openBIM.

Les principaux standards openBIM se divisent en trois catégories :

- Data standards (Standards de données) :
    - IFC (Industry Foundation Classes) : pour structurer et cataloguer les données du bâtiment.
    - MVD (Model View Definition) : pour définir les données spécifiques à échanger dans un processus donné, en filtrant les propriétés d’un fichier IFC.
- Workflow standards (Standards de processus) :

- BCF (BIM Collaboration Format) : conçu pour faciliter la communication et permettre l'échange de commentaires et retours entre professionnels.
- IDM (Information Delivery Manual) : visant à standardiser les processus d'échanges d'informations.

- bSI services (Services de buildingSMART) :
  - BuildingSMART Data Dictionary (bSDD) : un service en ligne permettant de standardiser les données techniques à travers une cartographie claire.

L'objectif principal de ces standards est d'améliorer et d'uniformiser les processus de communication entre toutes les parties prenantes, favorisant ainsi une collaboration fluide et efficace.

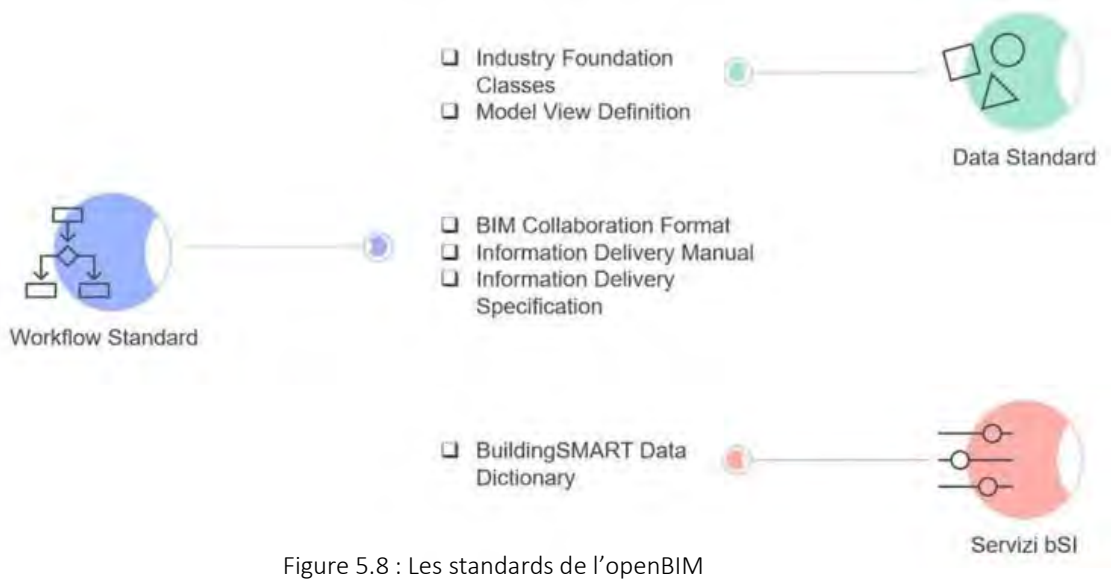


Figure 5.8 : Les standards de l'openBIM

Source : biblus.accasoftware.com

5.5. La gestion de workflows[4]

Pour collaborer efficacement avec tous les intervenants d'un projet autour des maquettes numériques, il est essentiel d'identifier, à chaque phase et pour chaque échange, les informations spécifiques requises pour un cas d'usage donné. Ces informations incluent :

[4] Cette partie est élaborée en s'appuyant sur le Guide de convention BIM par BuildingSMART Mediaconstruct

- La visualisation ;
- La détection des conflits (clash) ;
- Les documents écrits pour le DCE ;
- Les livrables pour le DOE, entre autres.

Par exemple, si l'objectif de la maîtrise d'ouvrage est de disposer d'une maquette destinée à la commercialisation d'un immeuble résidentiel, avec la mise en place d'une visite virtuelle via des lunettes immersives, plusieurs aspects devront être précisés :

- Qui sera responsable de la création de la maquette ?
- Qui l'enrichira pour obtenir un rendu réaliste ?
- Qui la traitera dans un logiciel de navigation virtuelle à la première personne ?
- Enfin, qui assurera la conversion pour que le fichier soit compatible avec les lunettes immersives ?

De plus, il sera nécessaire de définir les formats, les outils utilisés, ainsi que le séquençage des étapes de production. Cette définition des besoins permettra de sélectionner et de vérifier les données dans une maquette numérique adaptée et filtrée.

Identifier les informations nécessaires pour qu'un acteur puisse exécuter une tâche implique d'utiliser une méthode garantissant l'exhaustivité et permettant d'identifier les acteurs responsables de leur production.

Pour répondre à ces défis, buildingSMART International a introduit le concept d'IDM.

5.5.1. Information Delivery Manuals – IDM

L'Information Delivery Manual (IDM) est une méthode élaborée par buildingSMART visant à spécifier avec précision les processus et les informations échangées à chaque étape d'un projet de construction, voire sur l'ensemble du cycle de vie d'un ouvrage.

Cette approche permet de documenter tout type de processus, qu'il soit nouveau ou existant. Elle décrit également le type, le format et le contenu des informations que les intervenants doivent partager.

En d'autres termes, l'objectif principal de l'IDM est d'assurer une transmission efficace des données nécessaires entre les différents acteurs, afin de faciliter l'exécution des tâches successives et de structurer un processus clair et défini.

Le développement d'un IDM repose sur plusieurs éléments clés :

- Le cas d'usage concerné ;
- Les acteurs et leurs rôles respectifs ;
- L'environnement informatique utilisé ;
- Les conditions contractuelles établies.

Les IDM sont standardisés par la norme ISO 29481-1 :2010 intitulée "Building Information Modelling - Information Delivery Manual - Part 1 : Methodology and Format".

Un IDM se compose des éléments suivants :

- Modèle de processus (PMs) : Identifie à qui est destinée l'information.
- Exigences d'échange d'informations (EIR) : Décrit en quoi consiste cette information.
- Model View Definition (MVDs) : Explique comment l'information requise est délivrée.

7.5.2. Modèle de Processus (Process model) PMs :

Selon BuildingSMART, le modèle de processus d'un IDM est une représentation graphique normalisée permettant de décrire les activités qui existent au sein d'un processus métier. Il définit toutes les activités requises et les organise dans une séquence logique. Un modèle de processus peut être développé à un niveau de détail très précis ou très général.

Il existe plusieurs méthodes pour la représentation du modèle de processus à savoir : UML Activity Diagram, UML EDOC Business Processes, IDEF, ebXML BPSS, Activity-Decision Flow (ADF) Diagram, RosettaNet, LOVeM, and Event-Process Chains (EPCs). Cependant la notation la plus utilisée est la Business Process Modelling Notation (BPMN).

7.5.3. Business Process Modelling Notation (BPMN)

La BPMN a été développée par un groupe de modélisateurs de processus expérimentés au sein de l'Object Management Group (OMG) afin de répondre à plusieurs problématiques qui n'étaient pas couramment prises en compte par les notations précédentes et pour intégrer différentes idées en une approche standard, unifiée et acceptée. Cette notation permet de visualiser et de clarifier les tâches réalisées par chaque intervenant ainsi que les flux d'échanges d'informations associés. Le BPMN est devenu un standard comme ISO 19510 depuis 2013. La version BPMN 2.0 a été adoptée officiellement en janvier 2011.

Le BPMN offre la possibilité de créer des modèles de processus largement exempts d'interprétation grâce à un ensemble complet de symboles. Ces symboles permettent une représentation visuelle ainsi que la coordination des ressources intégrées aux processus, dans le cadre de l'automatisation et de la numérisation des processus.

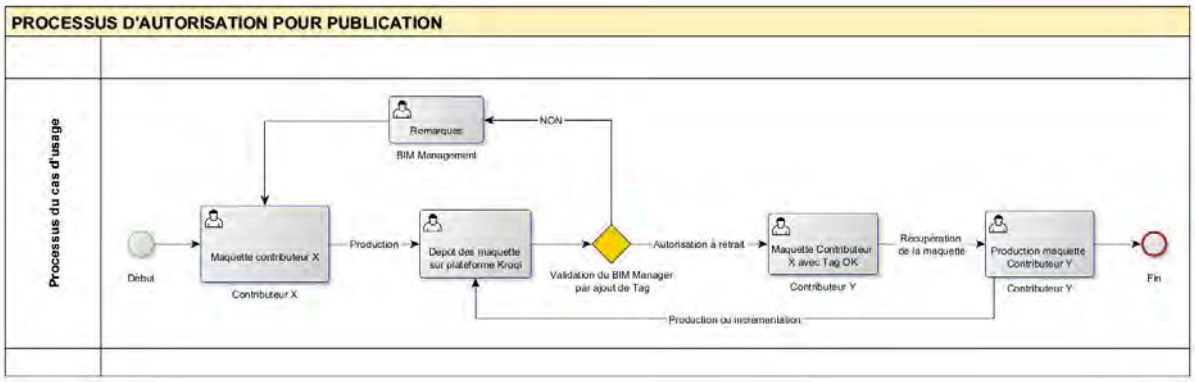


Figure 5.9 : Exemple de process BPMN

Source : BuildingSMART Mediaconstruct – Guide : Comment rédiger une convention BIM

Chapitre 6 : Acquisition de données

6.1. Géolocalisation et Géoréférencement

6.2. Numérisation 3D

6.3. Le Scan to BIM : du nuage de points à la Maquette BIM

Chapitre 6 : Acquisition de données

6.1. Introduction

La modélisation d'un ouvrage et la gestion d'un projet impliquent un volume important et complexe de données. Ces données sont produites par divers intervenants, utilisant une variété d'outils et de logiciels, avec des formats et supports multiples. En raison de cette diversité, il est courant que différentes parties adoptent des formalismes, représentations, terminologies et découpages distincts pour décrire une même information. Selon le guide de convention BIM de Mediaconstruct, pour garantir le bon déroulement du processus BIM, il est conseillé d'instaurer un système de référence unique pour garantir la cohérence des échanges. Ce système doit être spécifié par la maîtrise d'ouvrage dans le cahier des charges BIM. Idéalement, un modèle BIM référentiel devrait être élaboré dès le début de l'opération. Les caractéristiques de ce référentiel sont ensuite précisées dans la convention BIM. Ce système repose sur un modèle d'information fourni par l'un des contributeurs BIM, qui est le seul autorisé à modifier le système de référence.

6.2. Géolocalisation et Géoréférencement

Le géoréférencement constitue un principe clé de la cartographie assistée par ordinateur (CAO) et des systèmes d'information géographique (SIG). Une carte est considérée comme géoréférencée lorsque toutes les données qu'elle contient incluent, parmi leurs attributs, leurs coordonnées géographiques.

Selon Wikipédia, le géoréférencement consiste à attribuer à une entité cartographique une position précise dans l'espace en lui associant des coordonnées géographiques et en appliquant une transformation appropriée.

Il ne faut pas confondre cette pratique avec la géolocalisation, qui se limite à situer un objet sur un plan sans nécessairement inclure de coordonnées précises.

Dans le domaine des géomètres-experts, le géoréférencement correspond à l'opération de "rattachement" d'un relevé à un système de coordonnées connu. Bien que le géomètre-expert utilise généralement un système local pour garantir une précision optimale, il est indispensable de géoréférencer les données afin d'assurer leur interopérabilité avec d'autres systèmes.

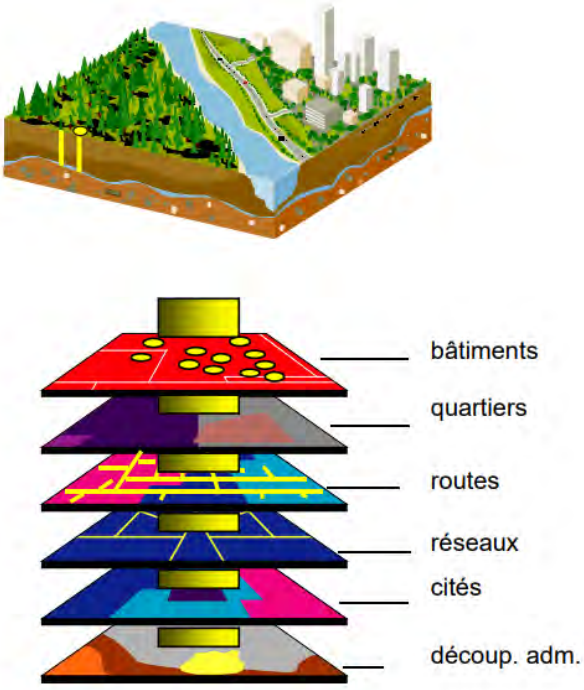


Figure 6.1 : Géoréférencement selon différents calques de relevé (SIG)

Le géoréférencement constitue la base essentielle pour positionner correctement l'information dans le territoire. Il permet notamment de :

- Localiser l'ouvrage en fonction de la géologie des sols, des infrastructures existantes (voies ferrées, canaux, etc.) et des éléments topographiques environnants (cours d'eau, réserves naturelles, etc.) ;
- Intégrer l'ouvrage dans son contexte pour évaluer son impact sur le bâti existant ou effectuer des simulations, telles que celles de l'ensoleillement, de l'exposition aux vents ou des nuisances sonores ;
- Connecter les réseaux de l'ouvrage aux infrastructures existantes (routes, systèmes d'assainissement, réseaux secs et humides).

6.2.1. « Position » et « Géoréférencement BIM »[5]

Il est important de souligner que, dans les logiciels de DAO et de CAO, la Terre est considérée comme une surface plane, tandis que dans la réalité, elle est sous une forme qui s'approche

[5] Cette partie est élaborée en s'appuyant sur un article publié sur loiclemerrer.com, prestataire de formation BIM

beaucoup plus d'un ellipsoïde. Cette distinction constitue un point de départ essentiel pour différencier clairement la notion de « position » de celle de « géoréférencement » dans une maquette numérique.

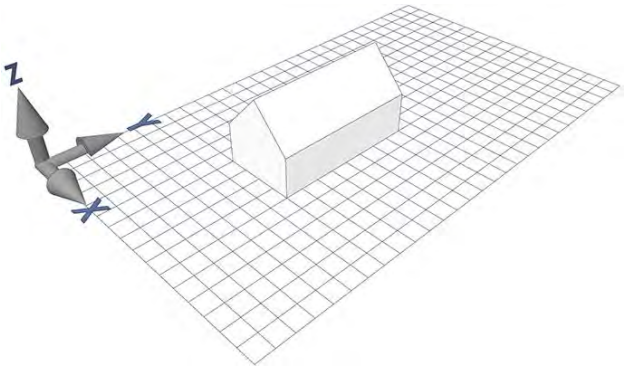


Figure 6.2 : Espace de travail en DAO-CAO : univers plat

Source : loiclemerrer.com

Figure 6.3 : Monde réel - la terre est ronde

Source : loiclemerrer.com

6.2.1.1. Position d'une maquette numérique :

La position d'une maquette numérique correspond à son emplacement par rapport à une origine absolue. Ce processus, relativement simple, débute par l'identification d'un point de repère sur site, qui est ensuite aligné avec l'origine absolue. Le projet est ensuite modélisé en prenant ce point comme référence. Le fond de plan fourni par le géomètre constitue un outil essentiel pour réaliser cette étape avec précision. Dans un processus de projet de construction traditionnel, c'est généralement le plan d'implantation qui définit la position du projet sur le site en utilisant des coordonnées cartésiennes.

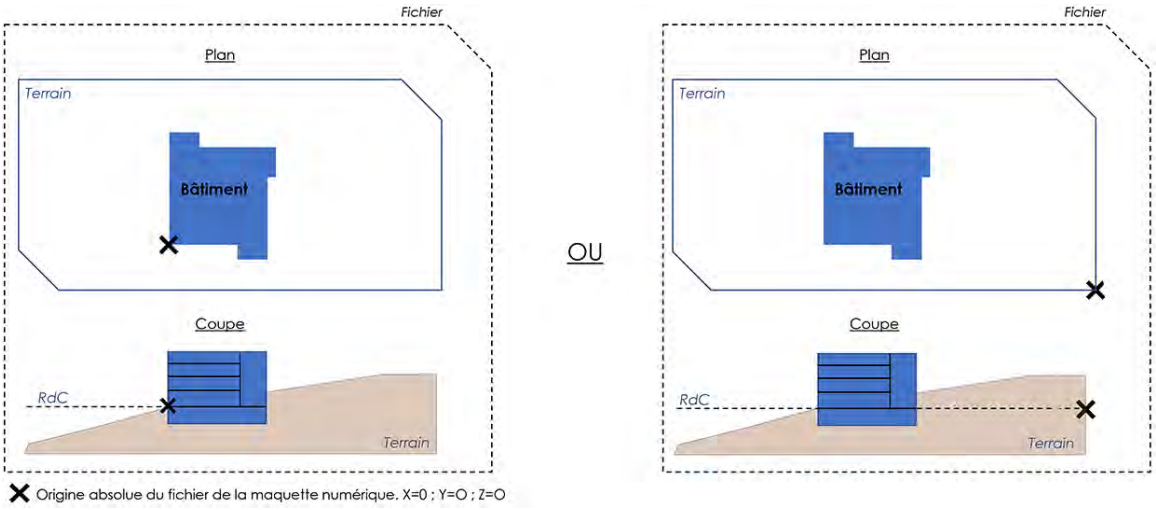


Figure 6.4 : Schéma de positionnement d'une maquette numérique par rapport à l'origine absolue d'un logiciel CAO

Source : loiclemerrer.com

Lorsqu'une opération inclut plusieurs bâtiments sur un même site, souvent désignée comme un « grand projet », le principe de positionnement reste identique à celui d'un bâtiment unique. Cependant, pour garantir un processus collaboratif BIM efficace entre les différents intervenants, il est fortement déconseillé de modéliser tous les bâtiments dans un seul fichier.

Dans l'exemple ci-dessous, le projet est divisé en 13 fichiers : 11 fichiers correspondant aux bâtiments, un pour le terrain, et un fichier général qui regroupe l'ensemble. Chaque maquette numérique utilise la même origine absolue comme point de référence et partage la même orientation du Nord. Cette approche facilite l'intégration et la coordination des différents éléments dans le fichier général.

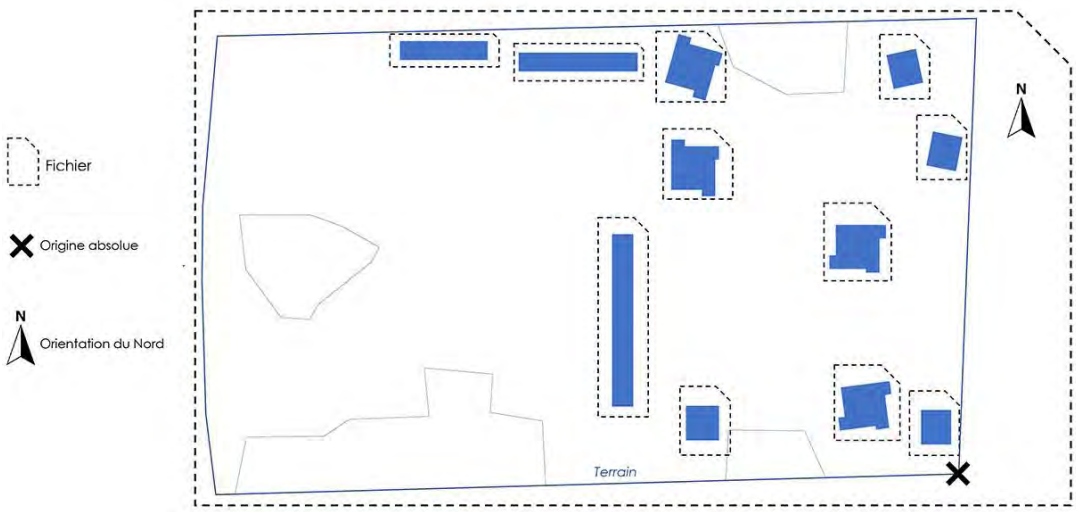


Figure 6.5 : Exemple de bâtiments modélisés et regroupés dans un seul fichier général

Source : loiclemerrer.com

6.2.1.2. L’importance de l’origine absolue

L'origine absolue est le point de référence fondamental en modélisation 2D et 3D. Chaque logiciel de CAO ou DAO en est doté, et elle est généralement symbolisée par des flèches qui indiquent les directions des axes X, Y, et Z. L'importance de l'origine absolue réside principalement dans la précision géométrique qu'elle offre. En effet, chaque élément 2D ou 3D est défini graphiquement à l'aide de coordonnées X, Y, Z, ce qui garantit un positionnement exact et cohérent dans l'espace.

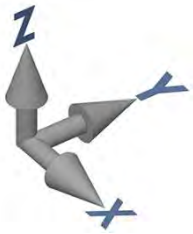


Figure 6.6 : L’origine absolue dans un logiciel CAO-DAO

Source : loiclemerrer.com

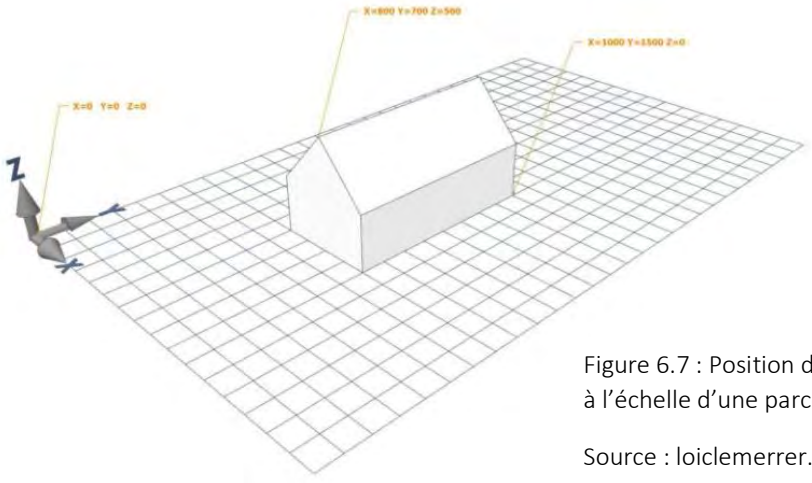


Figure 6.7 : Position d’une maquette numérique de projet à l’échelle d’une parcelle

Source : loiclemerrer.com

La modélisation d'une maquette numérique BIM, qu'elle concerne un ou plusieurs bâtiments, doit toujours être réalisée à proximité de l'origine absolue. Cela permet d'éviter plusieurs problématiques :

- La gestion de coordonnées avec des valeurs dépassant les capacités de calcul des logiciels de CAO/DAO.
- Les imprécisions dans le positionnement des éléments de la maquette numérique.

- Les erreurs potentielles lors du traitement des données associées.

Maintenir une proximité avec l'origine absolue garantit une meilleure performance et une fiabilité accrue des modèles numériques.

6.2.1.3. Objet de localisation BIM

Puisqu'il est impossible de déplacer une origine absolue, certains logiciels BIM offrent des fonctionnalités telles que le « point de base » et le « point topographique » dans Revit ou « point de référence de localisation » dans ArchiCAD, permettant ainsi de définir une origine de projet fictive. Cette fonctionnalité est particulièrement utile dans le cadre d'un projet en Open BIM, où il est nécessaire de positionner la maquette numérique selon un autre système de coordonnées, dont l'origine absolue peut différer de celle d'un autre logiciel utilisé pour le projet. Elle permet ainsi d'assurer l'interopérabilité entre différents outils et systèmes tout en maintenant la cohérence du projet.

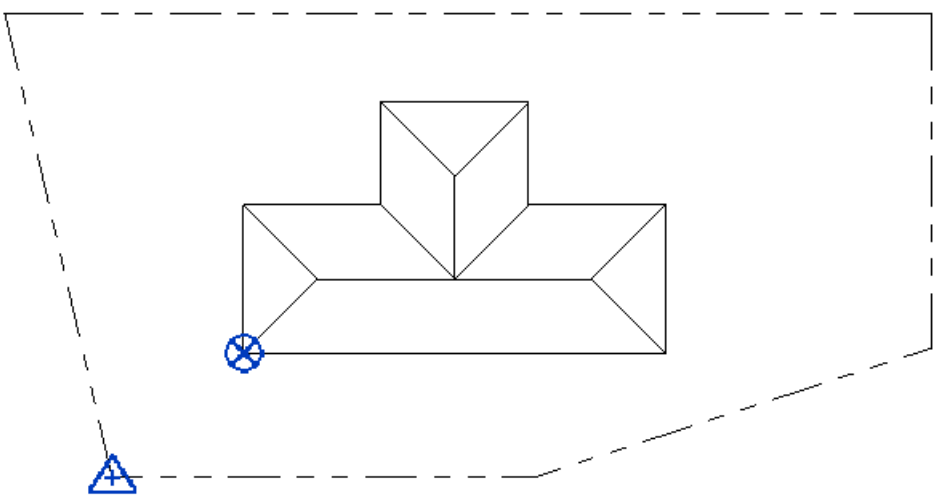


Figure 6.8 : Position d'une maquette numérique de projet par rapport au point de base projet et le point topographique

Source : Autodesk

Sur Revit, Autodesk définit le point de base projet et le point topographique comme suit :

- Le point de base du projet définit l'origine (0,0,0) du système de coordonnées du projet. Utilisez le point de base du projet en tant que point de référence pour les mesures sur le site.

- Le point de topographie identifie un emplacement réel près du modèle tel qu'un coin du site du projet ou l'intersection de deux limites de propriété. Il définit l'origine du système de coordonnées de topographie qui fournit un contexte réel pour le modèle.

6.2.1.4. Géoréférencement BIM

Le géoréférencement d'une maquette numérique BIM consiste à renseigner ses informations géographiques. Les informations de géoréférencement BIM correspondent à un point précis dans l'espace de travail CAO de la maquette numérique, qui est soit l'origine absolue, soit le point de base projet et point topographique (sur Revit).

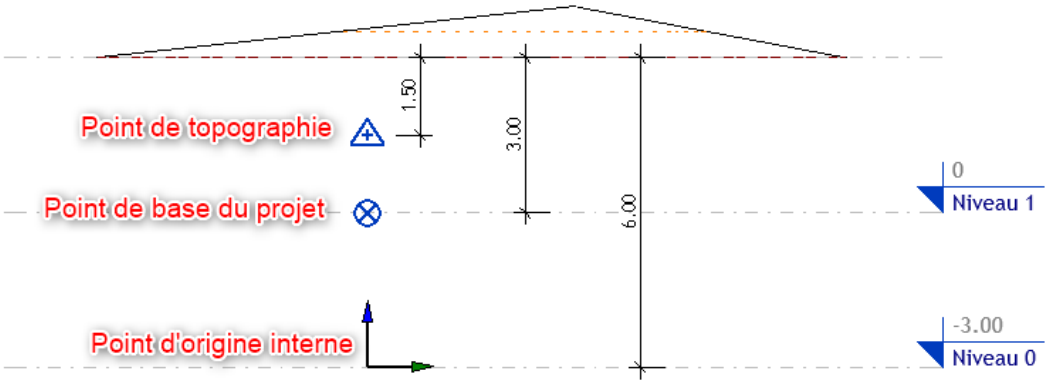


Figure 6.9 : symbole de l'origine absolue, point de base projet et point topographique sur Revit

Source : aplicit.com

Les informations de géoréférencement dans le cadre du BIM peuvent inclure plusieurs éléments essentiels pour garantir la précision du positionnement d'une maquette numérique. Parmi les informations capitales à ne pas négliger, on trouve :

1. **Les coordonnées latitude, longitude et altitude du point de repère :** Ces coordonnées peuvent être obtenues à partir d'un logiciel ou d'une plateforme SIG (comme Google Earth, IGN, Géoportail, etc.), ou bien être fournies par le géomètre du projet. Elles permettent de localiser précisément la maquette dans un système de coordonnées géographiques global (au Maghreb, c'est le système LAMBERT 4 qui est utilisé).

2. **Le "Nord du projet" :** Cette information définit l'orientation de la maquette par rapport au nord géographique ou magnétique. Elle est généralement spécifiée à l'aide d'une

fonction du logiciel utilisé et permet de garantir une bonne orientation de la maquette par rapport à son environnement réel.

Figure 6.10 : paramètre de géoréférencement dans les logiciels DAO-CAO

Source : loiclemerrer.com

Pour plus de détails pratiques sur le géoréférencement BIM, vous pouvez consulter le guide de BuildingSMART Médiaconstruct « Géoréférencement de projets BIM - Eléments méthodologiques : notions de base, cas d'usage et outils ».

6.2.1.5. Dimensions du BIM et géoréférencement

Le géoréférencement BIM ne se limite pas uniquement à la visualisation d'un projet sur une plateforme SIG ou à des études de parcours solaire. Il joue un rôle clé dans de nombreux cas d'usage et s'étend à plusieurs dimensions du BIM, de la phase de conception jusqu'au cycle de vie complet du bâtiment.

Les dimensions du BIM concernées par le géoréférencement incluent :

- BIM 6D : Ce domaine traite du développement durable et des études d'actions climatiques. Le géoréférencement permet de mieux gérer l'impact environnemental en analysant l'emplacement du bâtiment dans son contexte géographique, ce qui est crucial pour l'efficacité énergétique et les études de performance énergétique.
- BIM 7D : Ce domaine est centré sur la maintenance et l'exploitation du bâtiment. Le géoréférencement permet de localiser et d'identifier facilement les éléments du bâtiment pour une gestion plus efficace de la maintenance et des réparations tout au long de son cycle de vie.

- BIM 8D : Ce domaine concerne la **prévention et la localisation des secteurs à risques pour les tiers** durant les phases d'exécution et d'exploitation du projet. Grâce au géoréférencement, les zones dangereuses ou susceptibles de causer des risques peuvent être mieux identifiées et gérées, garantissant ainsi la sécurité sur le site pendant la construction et l'exploitation du bâtiment.

6.3. Numérisation 3D

Le scan 3D est une technique qui permet de capturer la forme d'un objet ou d'un environnement en utilisant un scanner 3D. Le résultat de cette numérisation est un fichier 3D qui peut être enregistré, modifié et même imprimé en 3D.

Il existe plusieurs technologies pour scanner en 3D des objets, des environnements ou des personnes, chacune ayant ses propres avantages et inconvénients. Par exemple, les scanners laser, les scanners à lumière structurée ou encore les caméras de capture de mouvement peuvent être utilisés selon le niveau de précision requis et le type d'objet à scanner.

Figure 6.11: FARO Focus S 70 laser scanner

Source : loiclemerrer.com

6.3.1. Catégories de scan 3D

Les technologies de scan 3D peuvent être classées en cinq grandes catégories, basées sur différents principes physiques :

- Triangulation laser : Cette technique consiste à projeter un rayon laser sur un objet et à analyser sa trajectoire. En fonction de la déviation du rayon, il est possible de déterminer les propriétés de la surface scannée en 3D.
- Lumière structurée : Une lumière ayant des caractéristiques précises (comme une grille régulière) est projetée sur la surface à scanner. Un capteur enregistre les déformations de cette lumière, permettant ainsi de déduire la forme de la surface numérisée en 3D.

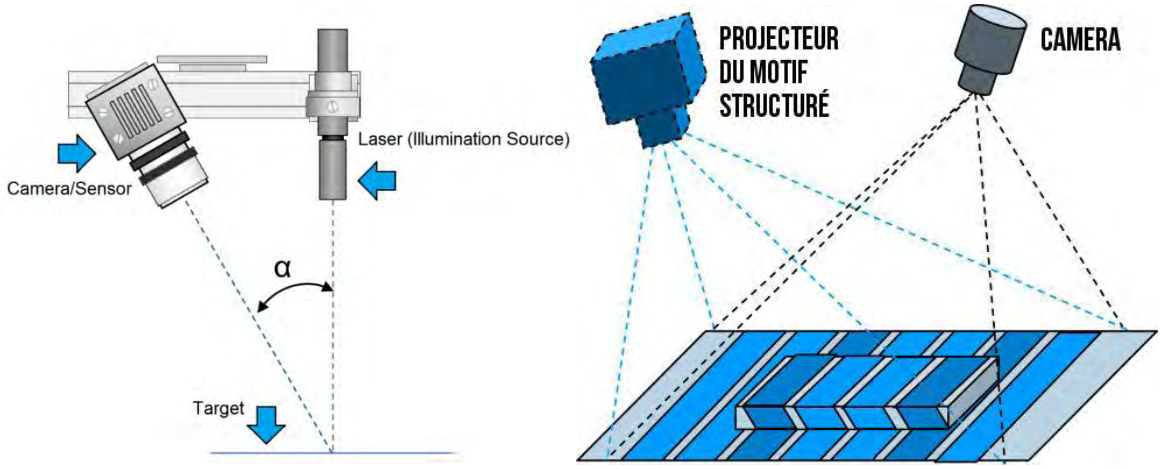


Figure 6.12: catégories de scanner 3D : Triangulation laser et lumière structurée

Source : loiclemerrer.com

- Photogrammétrie : Également appelée scan 3D à partir de photographies, cette méthode repose sur une analyse informatique avancée des informations extraites des photographies. Ces informations permettent de déterminer la position 3D du lieu où les photos ont été prises et, à partir de là, de créer un scan 3D de l'objet, de l'environnement ou de la personne.
- Contact : Ce système de scan 3D fonctionne en mesurant directement une surface en la touchant. En réalisant plusieurs mesures sur la surface, le scanner 3D déduit les informations nécessaires et crée un modèle 3D.
- Impulsion laser : Cette technologie, également appelée scan 3D par temps de vol (ToF, "Time of Flight"), repose sur le calcul du temps qu'un rayon laser met pour atteindre une surface et revenir au scanner. En mesurant précisément ce temps, qui dépend de

la vitesse de la lumière, et en répétant de nombreuses fois l'émission du laser et la mesure de la distance, un modèle 3D de la surface est généré.

Chacune de ces technologies a ses spécificités et ses avantages, et le choix de l'une ou l'autre dépend des exigences du projet en termes de précision, de type d'objet à scanner et de conditions environnementales.

Figure 6.13: catégories de scanner 3D : Photogrammétrie

Source : glassdoor.co.in

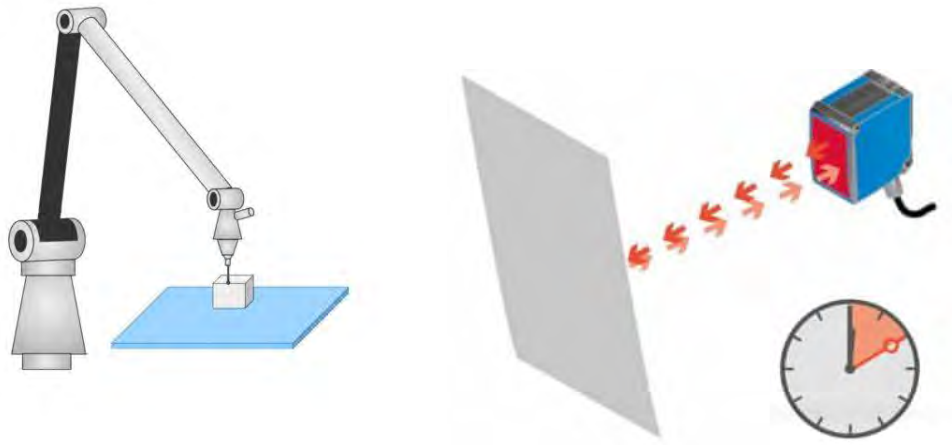


Figure 6.14: catégories de scanner 3D : par contact et impulsion laser

Source : conceptek.net

6.4. Le Scan to BIM : du nuage de points à la maquette numérique BIM[6]

Le **Scan to BIM** désigne le processus de modélisation d'un bâtiment à partir de son nuage de points, c'est-à-dire l'empreinte 3D générée après un relevé de l'intérieur et/ou de l'extérieur du bâtiment à l'aide de technologies de scan 3D (telles que la lasergrammétrie et la photogrammétrie).

Cette approche permet de créer ou de mettre à jour une maquette numérique en se basant sur une empreinte du réel, d'une précision centimétrique.

Les deux usages principaux selon les projets sont les suivants :

- **La création d'une maquette numérique à partir de zéro**, en utilisant une modélisation classique fondée sur l'empreinte et les coordonnées du nuage de points.
- **La mise à jour d'une maquette numérique existante**, par l'importation du nuage de points dans une maquette déjà existante, afin de détecter les différences ou conflits, appelés "clashs".
-

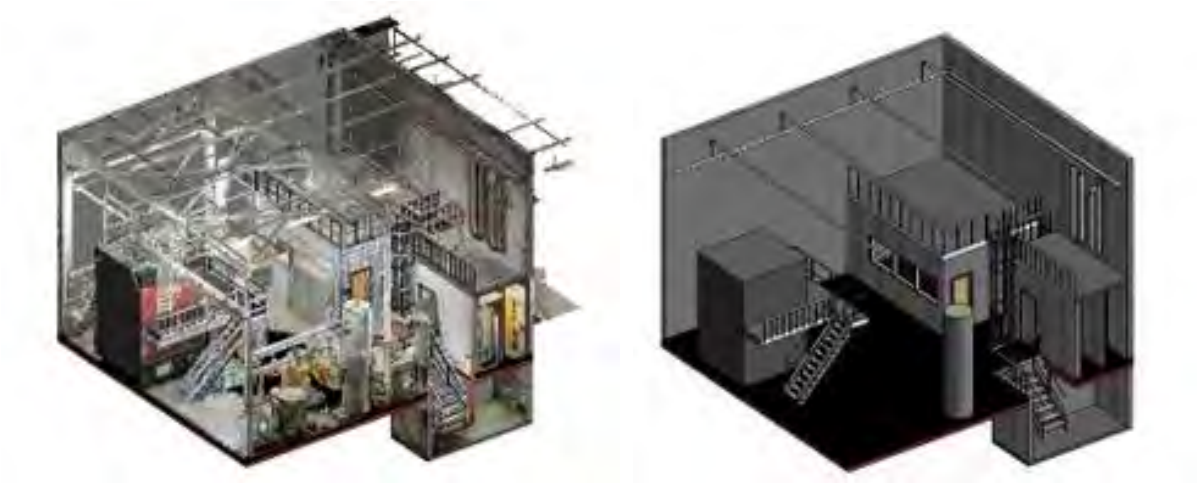


Figure 6.15: Le Scan to BIM - du nuage de points à la Maquette BIM

Source : mydigitalbuildings.com

[6] Cette partie est élaborée en s'appuyant sur un article publié sur mydigitalbuildings.com, prestataire de formation en scan to BIM

6.4.1. Les étapes du Scan to BIM

6.4.1.1. La première étape : le relevé 3D du bâtiment

Le **relevé des bâtiments** est une opération réalisée sur le terrain par des opérateurs équipés de scanners 3D, qui permettent de capturer l'ensemble du bâtiment.

Après le scan 3D, les millions de points collectés par les scanners sont assemblés sous la forme d'un **nuage de points**. Ce nuage de points est ensuite transmis au modeleur 3D, qui l'importera dans son logiciel de CAO afin de commencer son travail de modélisation du bâtiment.

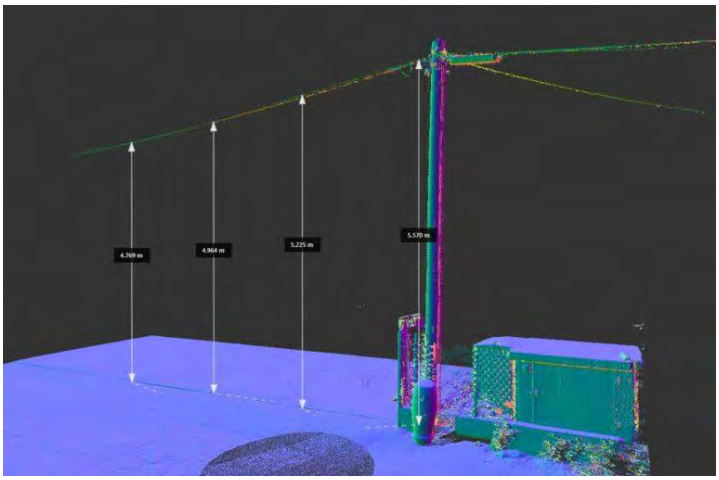


Figure 6.16: Des mesures de hauteur sont prises sur un nuage de points

Source : numerisation3d.construction.com

6.4.1.2. Deuxième étape : le post-traitement des données de scan

Une fois que les données du terrain ont été acquises, elles doivent être importées dans un logiciel tel qu'Autodesk Recap Pro, Faro Scène, Leica Cyclone, ou tout autre logiciel similaire, pour procéder à l'étape appelée **post-traitement**. Cette étape se divise globalement en deux parties :

- **L'assemblage/recalage des nuages de points** : Il s'agit d'assembler les différents nuages de points capturés sur site et de les recalibrer pour qu'ils s'alignent les uns par rapport aux autres.
- **Le nettoyage des nuages de points** : Cela consiste à éliminer les éléments indésirables dans les nuages de points, tels que les miroirs, les fenêtres ou des objets et personnes

présentes durant le scan, afin de ne conserver que les données pertinentes pour la modélisation.

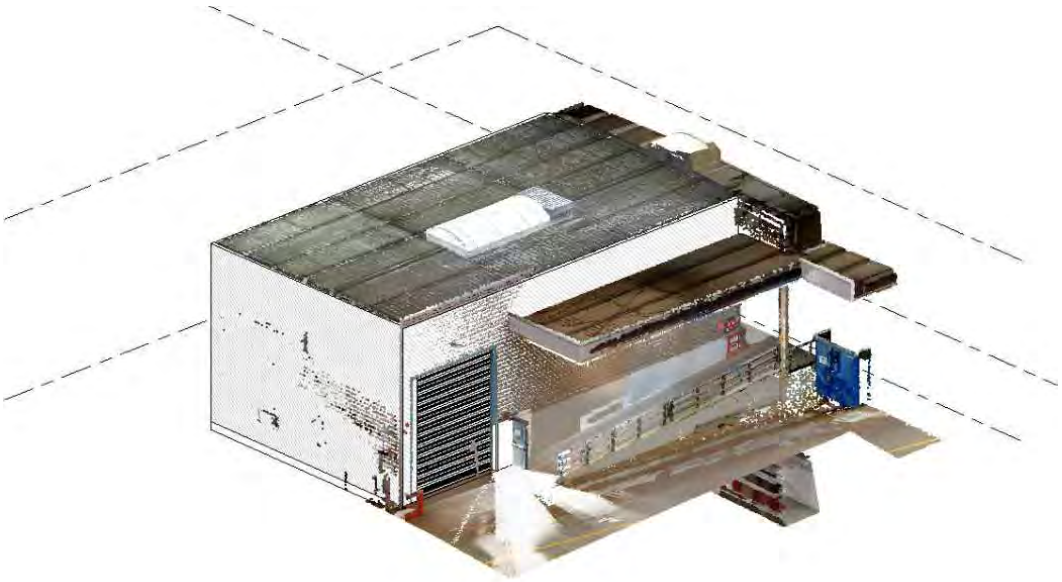


Figure 6.17 : Nuage de points d'un bâtiment

Source : mydigitalbuildings.com

6.4.1.3. Troisième étape : la modélisation

Vient ensuite la partie « to-BIM » de cette méthode, au cours de laquelle le nuage de points relevé est utilisé directement dans un logiciel de CAO pour être modélisé en fonction de son empreinte.

Pour ce faire, le nuage de points est retravaillé et découpé en différents « sets » de données représentant des zones spécifiques du bâtiment (étages, pièces, structure, réseaux, etc.), afin de réduire la taille des fichiers et les rendre ainsi plus facilement exploitables dans les logiciels de modélisation.

Une fois ces données simplifiées, elles sont intégrées dans un logiciel de CAO, où elles servent de calque de modélisation pour créer la maquette numérique du bâtiment.

Figure 6.18 : Nuage de points utilisé comme calque de modélisation

Source : mydigitalbuildings.com

Géoréférencement et nord du projet

La première étape consiste à définir précisément les coordonnées du projet, en déterminant le point topographique et le point de base. Cette démarche est essentielle pour faciliter les échanges de modèles entre les différents acteurs du projet et garantir que tous travaillent dans un même référentiel géographique.

Création des niveaux

Ensuite, en utilisant le nuage de points comme « calque 3D », nous réalisons des coupes longitudinales et transversales pour définir les hauteurs des différents niveaux. Cette étape nous permet de travailler sur chaque niveau de manière isolée, ce qui facilite la gestion et la modélisation du bâtiment.

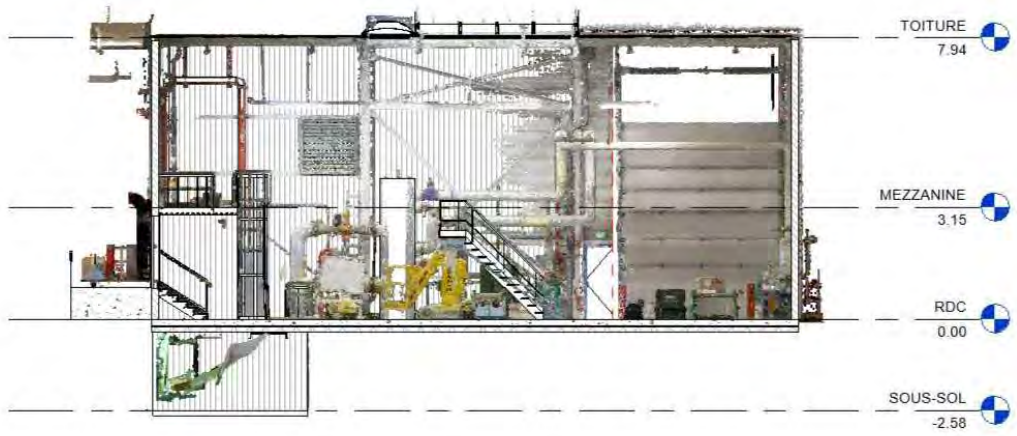


Figure 6.19 : Création de niveaux sur la base du nuage de points

Source : mydigitalbuildings.com

Création de la toiture

Ensuite, la toiture doit être modélisée. Selon le niveau de détail requis par le client, la charpente peut être représentée ou non dans le modèle.

Intégration des réseaux MEP

Les réseaux électriques, de plomberie et de ventilation sont ensuite modélisés. Le nuage de points sert de calque 3D, permettant d'identifier directement les différentes sections de câbles, gaines ou tuyaux. Selon la demande du client, les équipements de régulation tels que les vannes ou clapets peuvent également être intégrés dans la maquette.

Éléments de finition de second œuvre

En fonction des besoins, les revêtements de sols, de murs ou d'autres éléments de finition peuvent aussi être ajoutés à la maquette numérique.

Chapitre 7 : Systèmes de Classification BIM

7.1. Définitions

7.2. Avantages à utiliser un système de classification

7.3. Principes des systèmes de classification

7.4. Les systèmes de Classifications les plus utilisés

7.5. Méthode d'implémentation et gestion d'un système de classification sur un projet

Chapitre 7 : Systèmes de Classification BIM

7.1. Définition :

D'après BS. Médiaconstruct, un système de classification standardisé organise de manière hiérarchique les objets physiques (comme les éléments, espaces, ou produits) et immatériels (tels que les phases, services, disciplines, ou rôles) présents dans une maquette BIM.

Chaque niveau de cette structure hiérarchique est associé à une codification spécifique. Ce système garantit une compréhension commune des éléments entre les acteurs, quels que soient le langage ou les termes employés.

Cela revient à structurer ces objets de la même manière que l'on peut catégoriser les desserts selon différents critères.

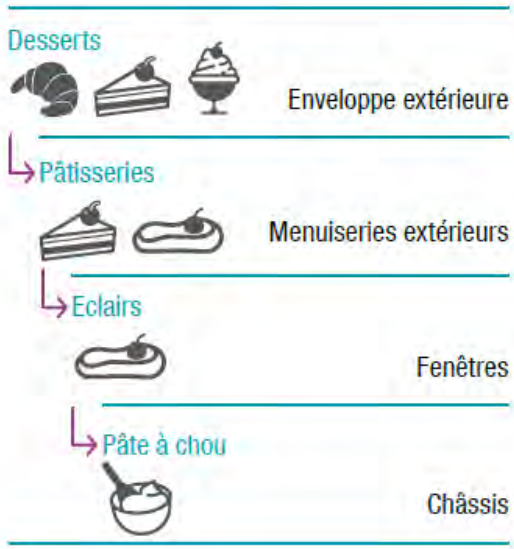


Figure 7.1 : la hiérarchisation des objets selon une logique d'un système de classification

Source: Mémo BIM en pratique : Systèmes de classification de bSFrance - Mediaconstruct

La codification issue d'un système de classification standardisé joue un rôle clé en servant de référence pour toutes les informations d'une base de données, notamment celles d'une maquette numérique BIM.

Ces codes garantissent à tous les acteurs la possibilité de définir et d'identifier, de manière unique et sans ambiguïté, chaque élément et information constituant le modèle numérique BIM.

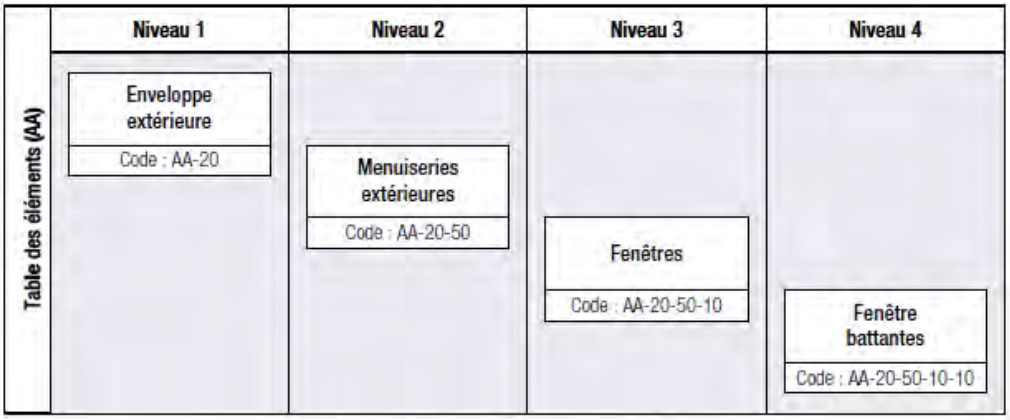


Tableau 7.1 : structure type d'un système de classification

Source: BS. Mediaconstruct : Rapport d'analyse - Les systèmes de classification et le BIM

7.2. Avantages à utiliser un système de classification

Dans le cadre d'un projet de construction, de nombreux professionnels interviennent à chaque étape, de la conception jusqu'à la déconstruction de l'ouvrage. Ces acteurs contribuent à la création, au partage et à l'utilisation des données relatives au bâtiment, souvent à travers des maquettes numériques et des outils collaboratifs. Cependant, chaque métier utilise son propre vocabulaire et sa manière spécifique de décrire les espaces et les éléments du bâtiment.

Pour harmoniser ces échanges et éviter toute confusion, la mise en place d'un système de classification s'avère essentielle. Ce système agit comme un langage commun, garantissant une terminologie uniforme pour renseigner les maquettes numériques et les documents associés. Il favorise l'interopérabilité entre les différents outils et acteurs, et assure la continuité et la fiabilité des données tout au long du cycle de vie du bâtiment.

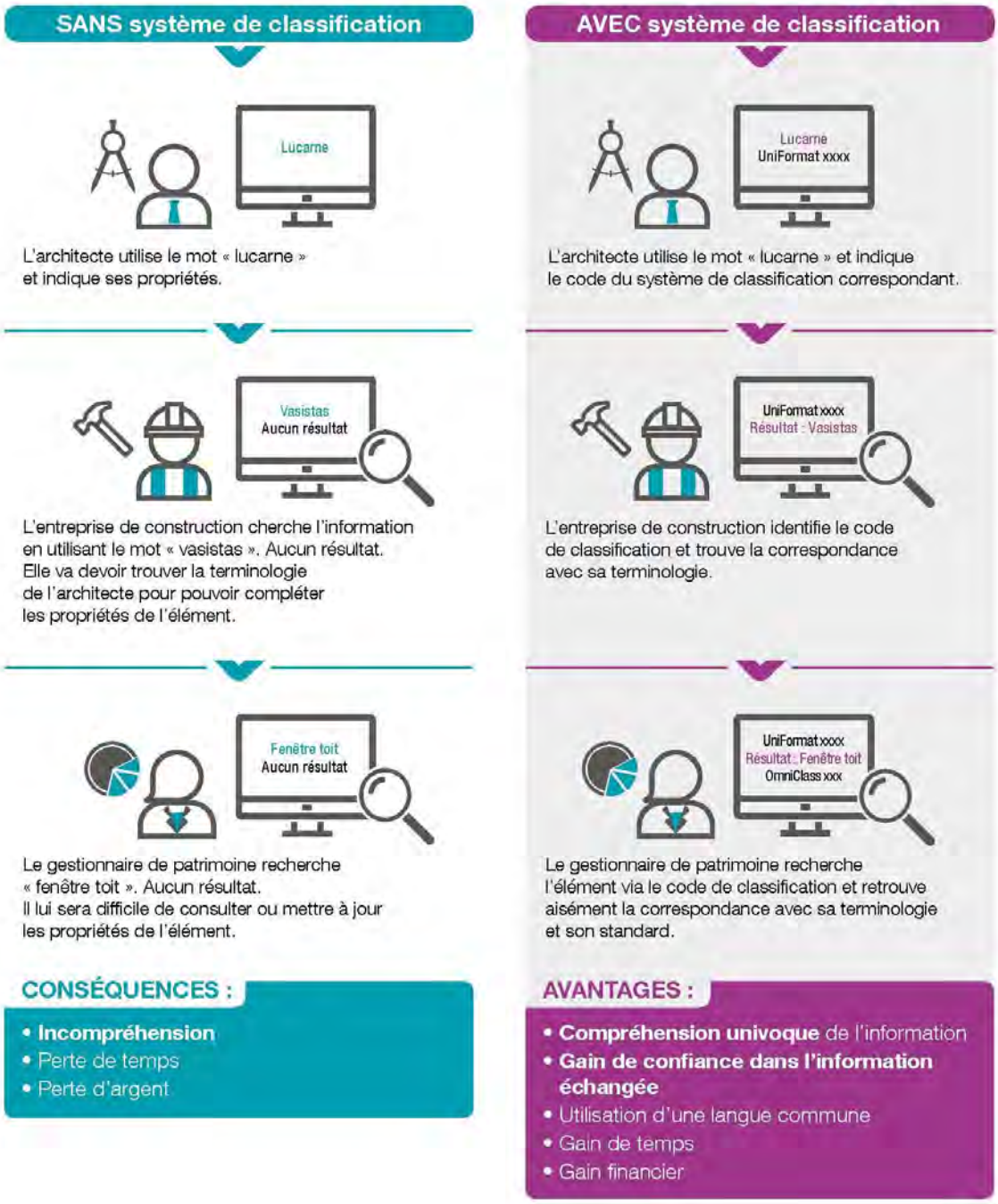


Tableau 7.2 : Avantage des systèmes de classification

Source : Mémo BIM en pratique : Systèmes de classification de bSFrance - Mediaconstruct

7.3. Principes des systèmes de classification[7]

7.3.1. Rappel normatif

Plusieurs systèmes de classification reposent sur des normes internationales qui établissent des règles claires pour concevoir et structurer un système de classification adapté au domaine général et spécifique de la construction. Parmi ces normes, on retrouve :

- ISO 22274:2013 – *Systèmes de gestion de la terminologie, de la connaissance et du contenu – Aspects conceptuels du développement et de la localisation des systèmes de classement*. Cette norme fournit des directives pour créer et adapter des systèmes de classification, en tenant compte des aspects conceptuels et contextuels.
- ISO 12006-2 :2015 – *Construction immobilière – Organisation de l'information des travaux de construction – Partie 2 : Plan type pour la classification*. Elle propose un cadre pour structurer et organiser les informations liées aux projets de construction, facilitant leur utilisation et leur interopérabilité.

7.3.2. La norme ISO 22274 : 2013 « Systèmes de gestion de la terminologie, de la connaissance et du contenu – Aspects conceptuels du développement et de la localisation des systèmes de classement »

Elle définit deux catégories de systèmes de classifications :

- Les systèmes de classification énumératifs
- Les systèmes de classification à facettes.

7.3.2.1. Les systèmes de classifications énumératifs

Ces normes ont pour objectif de répertorier de manière exhaustive tous les sujets possibles dans un domaine d'application spécifique. Généralement, elles adoptent une structure hiérarchique.

[7] Cette partie est élaborée en s'appuyant sur le Rapport d'analyse - Les systèmes de classification et le BIM - BS. Mediaconstruct

Une organisation hiérarchique repose sur un processus de division « descendante », qui consiste à subdiviser un sujet en une série de classes et sous-classes successives, selon une relation de subordination. Pour garantir une utilisation simple et efficace de ce type de structure, il est essentiel de limiter le nombre de sous-classes à chaque niveau.

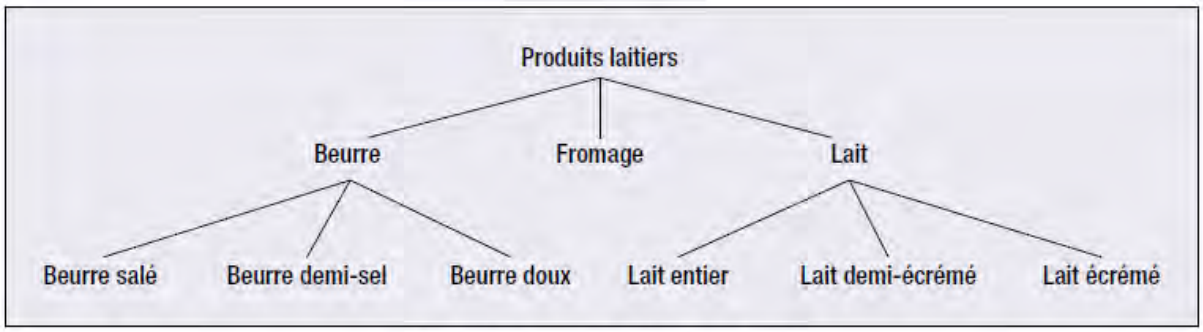


Figure 7.2 : Système de classification énumératifs

Source: BS. Mediaconstruct : Rapport d'analyse - Les systèmes de classification et le BIM

7.3.2.2. Les systèmes de classification à facettes

Les systèmes de classification à facettes permettent d'attribuer plusieurs caractéristiques à un même objet. Cela signifie qu'un objet peut être défini par une combinaison de classes provenant des différentes facettes du système.

Dans certains systèmes de classification basés sur la norme ISO 12006-2 : 2015, ces facettes sont appelées « tables ».

Contrairement aux systèmes de classification énumératifs, les systèmes à facettes sont moins hiérarchiques, offrant ainsi plus de flexibilité. Ils facilitent l'intégration de nouveaux objets et améliorent la lisibilité en réduisant le nombre de niveaux nécessaires pour identifier un objet.

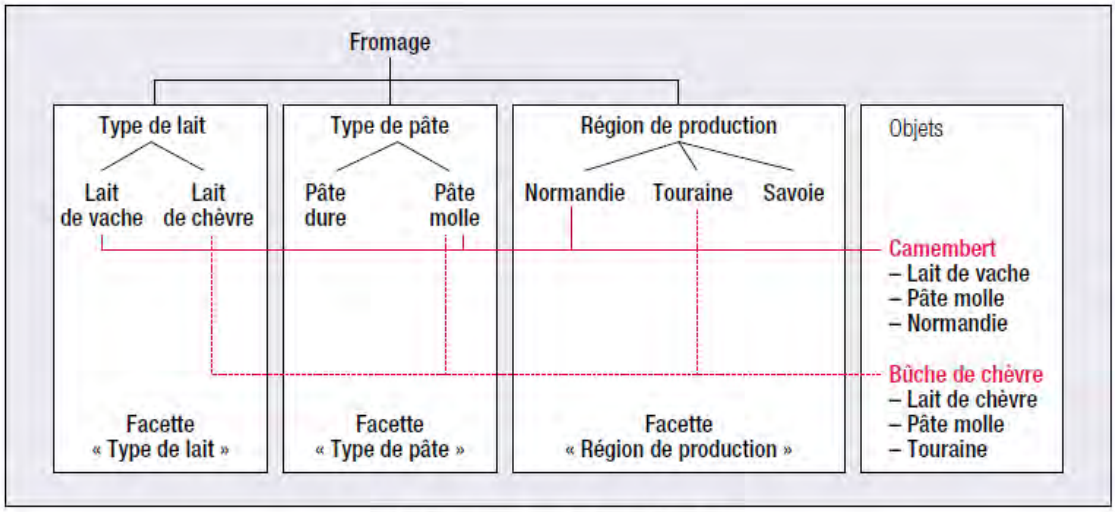


Figure 7.3 : Système de classification à facettes

Source: BS. Mediaconstruct : Rapport d'analyse - Les systèmes de classification et le BIM

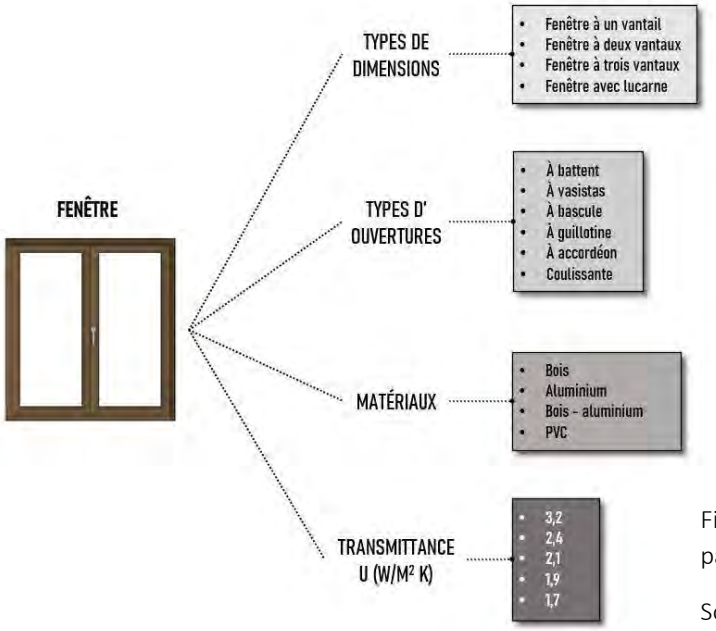


Figure 7.4 : Exemple explicatif de la classification par facettes

Source : ACCA Software - Whitepaper : IFC-file

Un système de classification peut aussi combiner les deux approches, créant un **système de classification énumératif à facettes**.

Dans ce type de système, les premiers niveaux sont organisés de manière énumérative afin de restreindre le nombre de domaines applicables à chaque classe. Ensuite, les niveaux inférieurs adoptent une organisation à facettes, permettant de détailler et de spécifier précisément la nature des concepts associés à chaque classe.

Cette combinaison offre l'avantage d'une structure claire pour les domaines généraux tout en conservant la flexibilité et la spécificité nécessaires pour les détails.

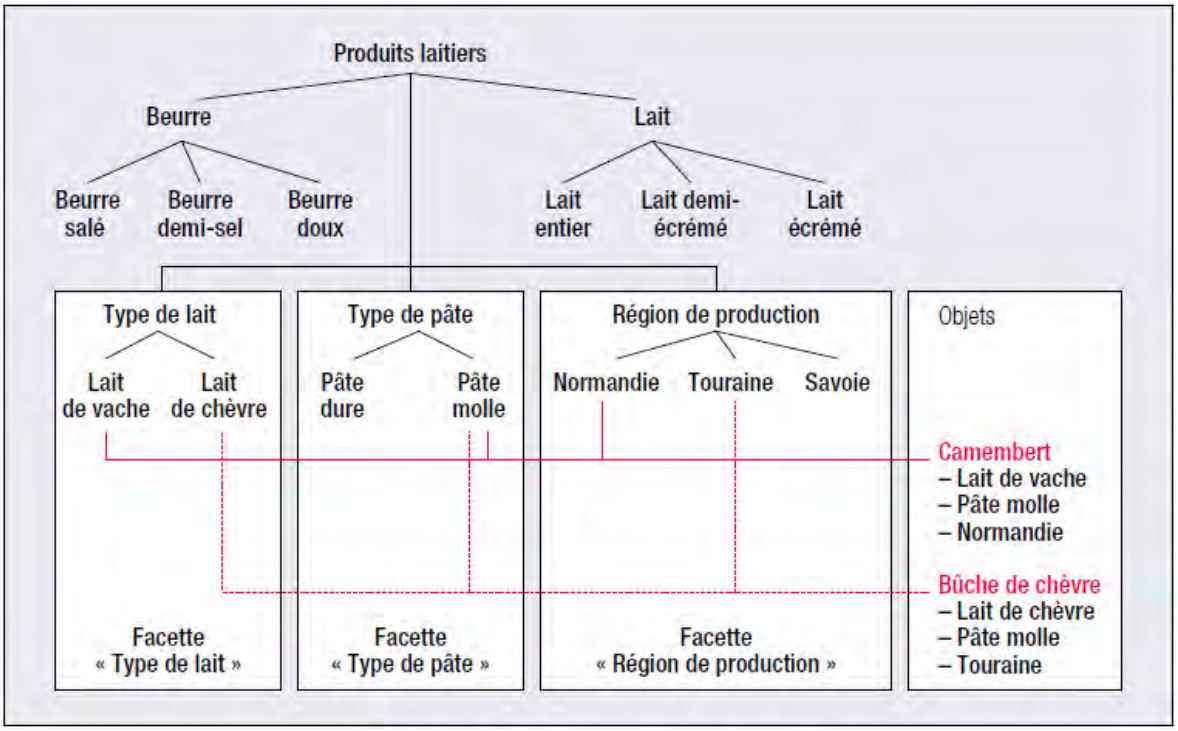


Figure 7.5 : Système de classification énumératifs à facettes

Source : BS. Mediaconstruct : Rapport d'analyse - Les systèmes de classification et le BIM

7.3.3. La norme ISO 12006-2 :2015 « Construction immobilière – Organisation de l'information des travaux de construction – Partie 2 : Plan type pour la classification » fixe des règles pour l'élaboration des systèmes de classifications dans le domaine de la construction

La norme propose un cadre de référence qui facilite la compatibilité entre différents systèmes de classification. Elle définit notamment deux types d'organisation hiérarchique des niveaux :

- Organisation hiérarchique par classement : Les sous-classes sont des types ou sous-catégories de la classe supérieure. Chaque niveau inférieur est directement dérivé de la classe au-dessus.
- Organisation hiérarchique par composition : Les sous-classes représentent des sous-ensembles ou des composants d'un élément supérieur, formant ensemble un tout.

La norme autorise également la combinaison de ces deux types d'organisation, permettant une structuration plus complexe et adaptée aux besoins spécifiques des projets.

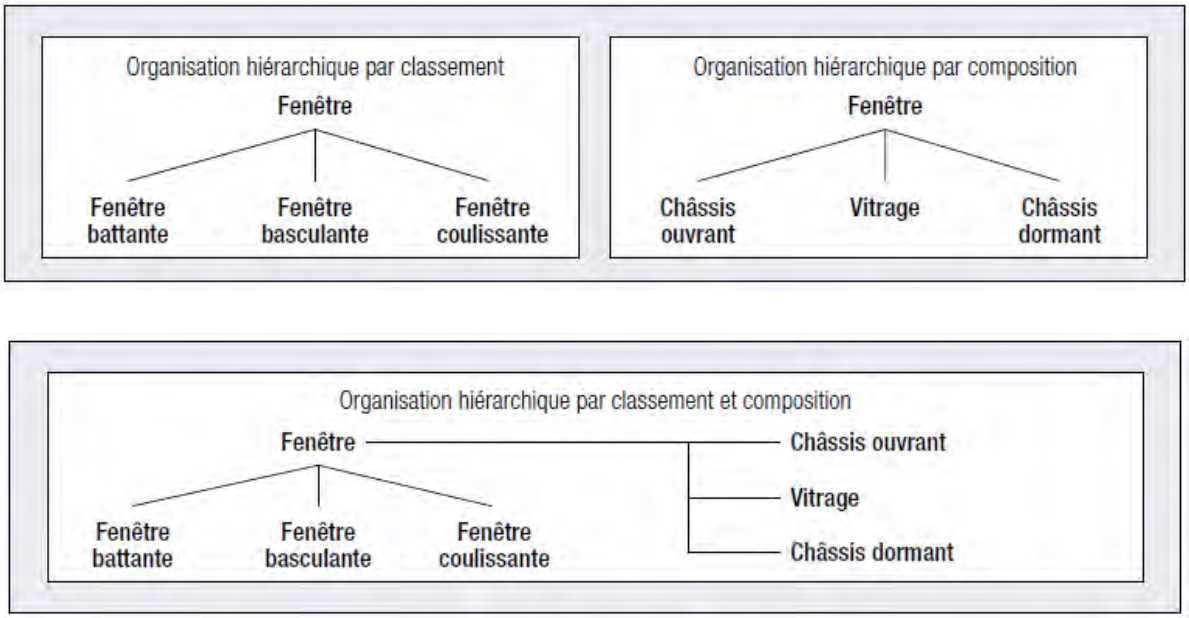


Figure 7.6 : combinaison deux types d'organisation hiérarchique par classement et par composition

Source : BS. Mediaconstruct : Rapport d'analyse - Les systèmes de classification et le BIM

7.4. Les systèmes de classification les plus utilisés

Après la Seconde Guerre mondiale, divers systèmes de classification pour le secteur de la construction ont vu le jour et se sont répandus à travers le monde. L'émergence de systèmes nationaux, parfois calqués les uns sur les autres, semble avoir éloigné les professionnels du secteur de l'idée de développer un système international. Toutefois, ces dernières années, un nouvel intérêt semble se manifester pour des initiatives mondiales, notamment dans des domaines spécifiques comme celui des économistes de la construction.

Le tableau ci-dessous répertorie à la fois chronologiquement et par pays les différents systèmes de classification les plus utilisés.

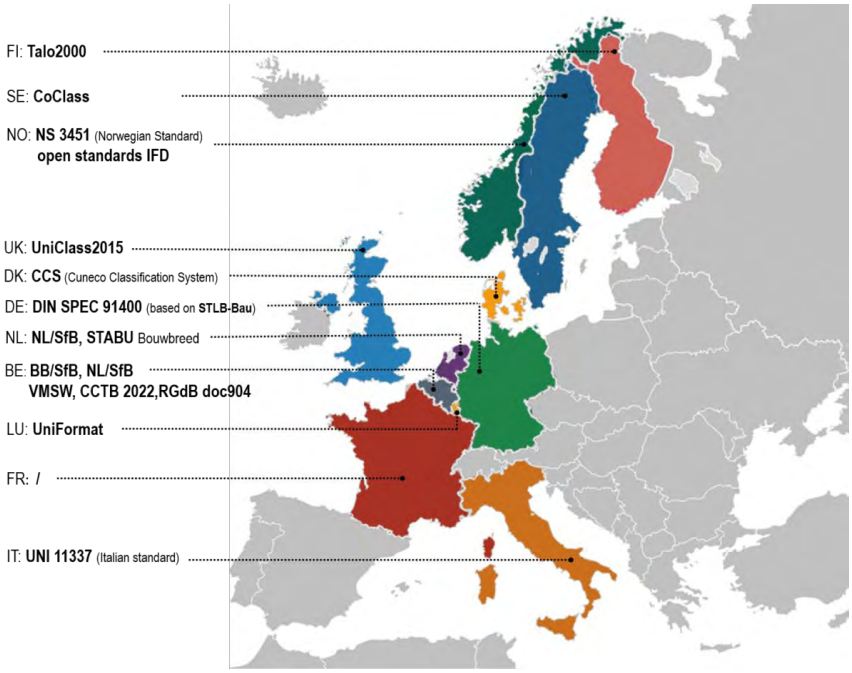


Figure 7.7 : les systèmes de classification les plus utilisés en Europe

Source : geoit.be

Pays	Systèmes de classification
Etats-Unis	**MasterFormat** (1963) **UNIFORMAT (futur UniFormat 2010 CSI)** (1981)
Australie	**NATPSEC** (1981)
Etats-Unis	**UNIFORMAT II (Futur UNIFORMAT II 2015)** (1993)
Nouvelle-Zélande	**NZS 4020** (1995) **CBI** (1997)
Singapour	**Code of Pratice CP 80:1999 & SMM7** (1999)
Etats-Unis	**Omniclass** (2013)
Australie	**ASMM6** (2016)

Pays	Systèmes de classification
Suisse	**CFC & eCCC** (1969)
Italie	**L'UNI 11337** (1981)
Norvège	**NS 3451** (1988)
Belgique	**BB/SfB – NL/SfB** (1990)
Norvège	**NS 3455** (1993) **NS 8360** (2009)
Finlande	**Talo 2000** (2010)
Norvège	**NS 3457-3** (2013)
Danemark	**Cuneco Classification System** (2014)
Royaume Uni	**Uniclass 2015** (2015)
Luxembourg	**CRTI-B** (NC)
Portugal	**ProNIC** (NC)
Suède	**CoClass** (NC)

Fig. – Liste des principaux systèmes de classifications utilisés

Figure 7.8 : les systèmes de classification les plus utilisés dans le monde

Source : BS. Mediaconstruct : Guide pratique - Des systèmes de classifications pour des projets en BIM

7.4.1. La classification UniFormat

La classification UniFormat, développée aux États-Unis en 1973, est un système de classification des éléments de construction, principalement axé sur les travaux de mise en œuvre. Ce système repose sur deux éléments principaux :

1. **La structure hiérarchique** : Elle est numérotée de manière hiérarchique pour organiser les éléments.
2. **Le choix des objets classés** : Les objets sont sélectionnés en fonction du rapport entre leur coût et leur fréquence d'utilisation.

La classification UniFormat se divise en trois niveaux principaux d'objets :

- **Niveau 1** : Regroupe les principaux types d'objets tels que les fondations, l'enveloppe du bâtiment, et les cloisons.
- **Niveau 2** : Décompose le premier niveau en sous-groupes plus spécifiques.
- **Niveau 3** : Précise les objets contenus dans le deuxième niveau.

Comme pour d'autres systèmes de classification, chaque élément se voit attribuer un code alphanumérique pour identifier le niveau d'information associé.

Level 1 Major Group Elements	Level 2 Group Elements	Level 3 Individual Elements
A – Substructure	A10 – Foundations	A1010 – Standard Foundations
		A1020 – Special Foundations
		A1030 – Stab on Grade
	A20 – Basement construction	A2010 – Basement Excavation
		A2020 – Basement Walls
B – Shell (involucro)	B10 – Super Structure	B1010 – Floor Construction
		B1020 – Roof Construction
	B20 – Exterior Enclosure	B2010 – Exterior Walls
		B2020 – Exterior Windows
		B2030 – Exterior Doors
	B30 – Roofing	B3010 – Roof Coverings
		B3020 – Roof Openings
C – Interiors	C10 – Interior Construction	C1010 – Partitions
Etc.		

Tableau 7.3 : Quelques-unes des catégories du système de classification UniFormat

Source : biblus.accasoftware.com

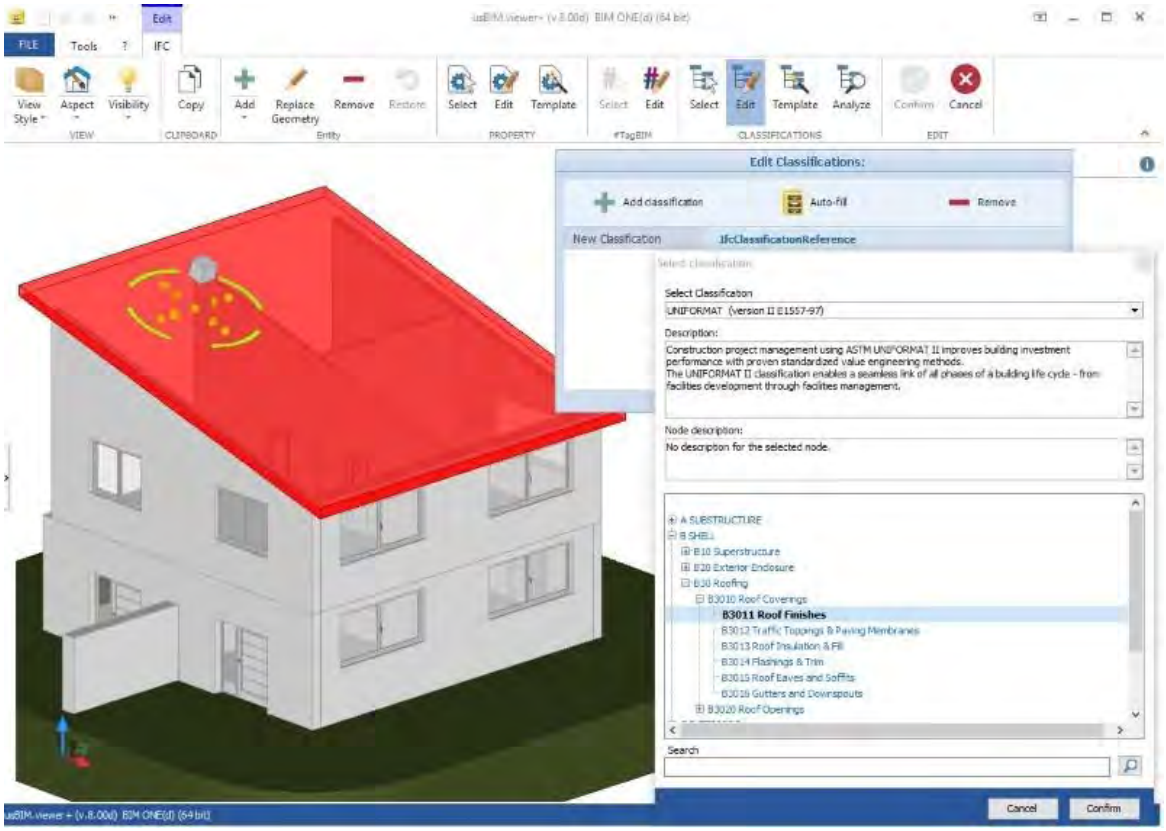


Figure 7.9 : Exemple de classification UniFormat avec usBIM.viewer+

Source : ACCA Software – Whitepaper : IFC-file

7.4.2. La classification MasterFormat

La classification MasterFormat, publiée en 1963 et mise à jour en 1974 par le Construction Specification Institute (CSI) et le Construction Specification Canada (CSC), est actuellement l'un des systèmes de classification les plus utilisés dans l'industrie de la construction aux États-Unis et au Canada.

Ce système de classification se distingue par sa structure hiérarchique, tout en ayant des particularités :

- Bien qu'il soit divisé en groupes et sous-groupes, ceux-ci ne sont pas numérotés.
- En revanche, les divisions associées aux sous-groupes sont numérotées, ce qui permet une meilleure organisation.

- Chaque division est subdivisée en sections, qui sont identifiées par un nombre à six chiffres. Ce nombre peut être augmenté sans perturber l'ordre général du système, offrant ainsi une grande flexibilité.

MasterFormat permet ainsi une gestion très détaillée et évolutive des informations liées à un projet de construction, avec une codification qui facilite l'organisation, la recherche et l'échange d'informations entre les différents intervenants.

Specifications Group	
General Requirements Subgroup	
	Division 01 – General Requirements
Facility Construction Subgroup	
	Division 02 – Existing Conditions
	Division 03 – Concrete
	Division 04 – Masonry
	Division 05 – Metals
	Division 06 – Wood, Plastics and Composites
	Etc.
Process Equipment Subgroup	
	Division 40 – Process Integration
	Division 41 – Material Processing and Handling Equipment
	Division 42 – Process Heating, Cooling, and Drying Equipment
	Etc.

Tableau 7.4 : système de classification MasterFormat

Source : biblus.accasoftware.com

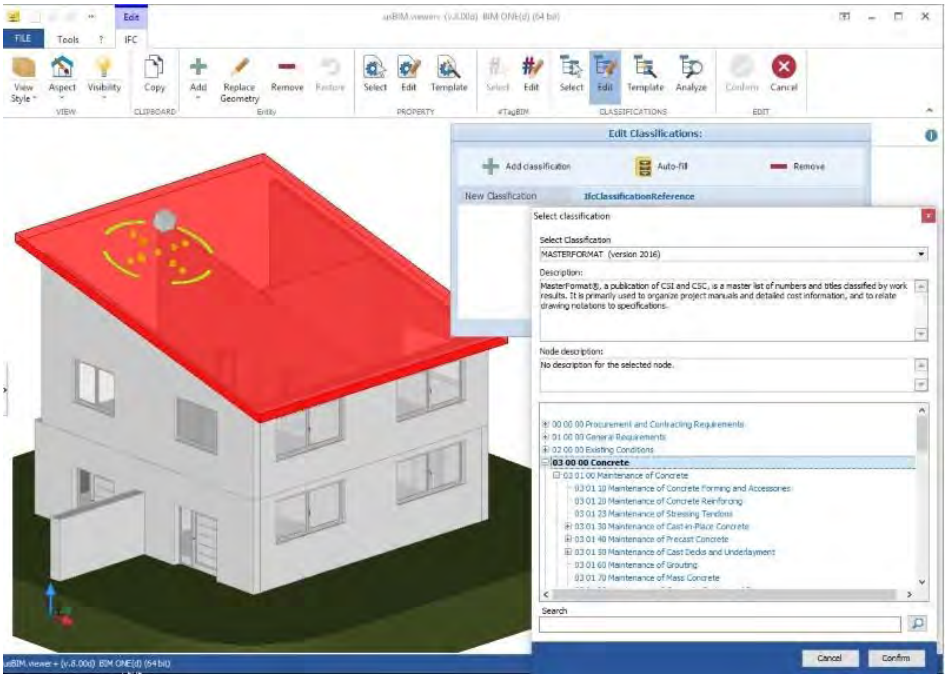


Figure 7.10 : Exemple de classification MasterFormat avec usBIM.viewer+

Source : ACCA Software IFC-file Whitepaper

7.5. Méthode d'implémentation et gestion d'un système de classification sur un projet

Cette section est élaborée en se basant sur « le guide pratique des systèmes de classification » édité par Médiaconstruct (Building smart international France)

7.5.1. 1ère étape : Recenser le besoin

Il convient tout d'abord d'identifier les besoins en fonction des informations échangées dans les cas d'usage (processus) utilisés pour atteindre les objectifs BIM du projet, de la maîtrise d'ouvrage et des autres parties prenantes.

7.5.2. 2ème étape : Identifier les méthodes de travail

Ensuite, il est nécessaire d'identifier les habitudes des contributeurs du projet et de prendre en compte leurs pratiques d'organisation ainsi que l'information présente dans les maquettes :

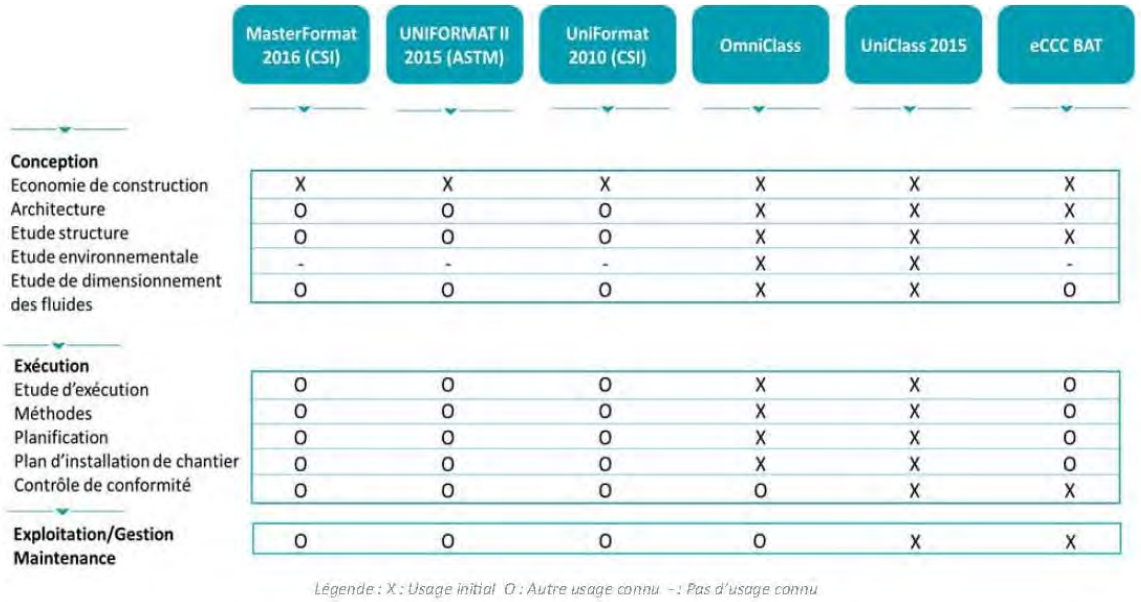
- Quelles sont les méthodes de nommage des objets ?
- Existe-t-il des modalités de classification, ou sont-elles absentes ?
- Y a-t-il une charte de bonnes pratiques en place, ou le système est-il désorganisé ?
- Etc.

7.5.3. 3ème étape : Choisir le système de classification approprié

En fonction des besoins et des pratiques identifiés lors des étapes précédentes, le BIM management proposera le système de classification le plus approprié :

- Plus ou moins détaillé ;
- Couvrant des concepts qui répondent aux exigences spécifiques du projet, tels que les éléments, les espaces et les propriétés ;
- Compatible avec les niveaux de maturité des contributeurs.

Le tableau ci-contre présente un exemple des principaux systèmes de classification ainsi que les domaines métiers ou usages pour lesquels ils sont les plus adaptés.



	MasterFormat 2016 (CSI)	UNIFORMAT II 2015 (ASTM)	UniFormat 2010 (CSI)	OmniClass	UniClass 2015	eCCC BAT
Conception						
Economie de construction	X	X	X	X	X	X
Architecture	O	O	O	X	X	X
Etude structure	O	O	O	X	X	X
Etude environnementale	-	-	-	X	X	-
Etude de dimensionnement des fluides	O	O	O	X	X	O
Exécution						
Etude d'exécution	O	O	O	X	X	O
Méthodes	O	O	O	X	X	O
Planification	O	O	O	X	X	O
Plan d'installation de chantier	O	O	O	X	X	O
Contrôle de conformité	O	O	O	O	X	X
Exploitation/Gestion Maintenance	O	O	O	O	X	X

Légende : X : Usage initial O : Autre usage connu - : Pas d'usage connu

Tableau 7.5 : Matrice pour le choix du système de classification

Source : guide pratique des systemes de classifications pour des projets en BIM - Mediaconstruct

Le choix du système de classification doit répondre à l'ensemble des cas d'usage du projet. Il est conseillé d'utiliser un seul système de classification pour l'ensemble des cas d'usage au sein du même projet. Toutefois, si le besoin l'exige, plusieurs systèmes de classification peuvent être utilisés. Dans ce cas, il sera essentiel de mettre en correspondance les systèmes de classification choisis pour le projet afin de faciliter leur adoption et leur utilisation par tous les intervenants.

7.5.4. 4ème étape : Intégrer le système de classification au projet

Une fois le choix du système de classification effectué, il est crucial de l'intégrer dans les documents BIM du projet, à savoir :

- La Charte BIM et le Cahier des charges BIM de la maîtrise d'ouvrage ;
- La convention BIM et le Plan de mise en œuvre BIM du projet, élaborés par le BIM management.

7.5.5. 5ème étape : Renseigner le système de classification dans les productions du projet

Le système de classification retenu doit être intégré dans l'ensemble des documents, en particulier :

- Les maquettes numériques, les plans et détails ;
- Les rapports, notices, etc.

Pour l'intégration du système de classification dans les propriétés des objets des maquettes numériques, des fiches détaillées en annexe de ce guide précisent les méthodes de renseignement et d'utilisation des systèmes de classification dans les logiciels de modélisation de maquettes numériques, ainsi que des exemples concrets d'utilisation dans différents cas d'usages.

7.5.6. 6ème étape : Exporter le système de classification des maquettes IFC

Les informations concernant le système de classification sont intégrées directement dans les propriétés de chaque objet de la maquette numérique, selon son format natif. Lorsque l'on souhaite partager cette maquette avec un autre intervenant utilisant un logiciel différent, et pour garantir la compatibilité dans le format openBIM IFC (Industry Foundation Classes), il est essentiel de vérifier au préalable que les paramètres d'exportation ont été correctement configurés.

7.5.7. 7ème étape : Contrôler le renseignement du système de classification

Tout au long du projet, il est important de s'assurer que le système de classification est correctement utilisé dans tous les documents produits et échangés. Ce processus de vérification se déroule en deux étapes:

1. Validation au niveau disciplinaire (métier) : Chaque contributeur BIM est responsable de renseigner le système de classification choisi dans les documents et les maquettes numériques qu'il produit. Le coordinateur BIM de chaque entreprise est chargé de valider l'intégration correcte du système de classification dans leurs livrables avant leur soumission sur la plateforme collaborative du projet.
2. Validation au niveau du projet : Le BIM management du projet effectuera une vérification supplémentaire pour s'assurer que le système de classification a été correctement renseigné dans tous les documents et maquettes numériques téléchargés sur la plateforme collaborative du projet.

Chapitre 8 : Coordination BIM

8.1. Définitions et principes

8.2. Détection de collisions

8.3. Type de conflits

8.4. Matrice de gestion des conflits

8.5. Processus de détection de collisions

Chapitre 8 : Coordination BIM

8.1. Définitions et principes

La coordination BIM est un processus visant à intégrer les modèles de différentes disciplines, tels que l'architecture, la structure, les systèmes de ventilation, les installations électriques ou encore les modèles de préfabrication. L'objectif principal est d'identifier et de résoudre les éventuelles collisions entre ces modèles.

Ce processus inclut également la vérification de l'exactitude des données contenues dans les modèles, la génération de rapports de détection de collisions, l'élaboration de listes d'éléments des modèles, ainsi que l'organisation et la conduite de réunions de coordination pour assurer une collaboration efficace entre les parties prenantes.

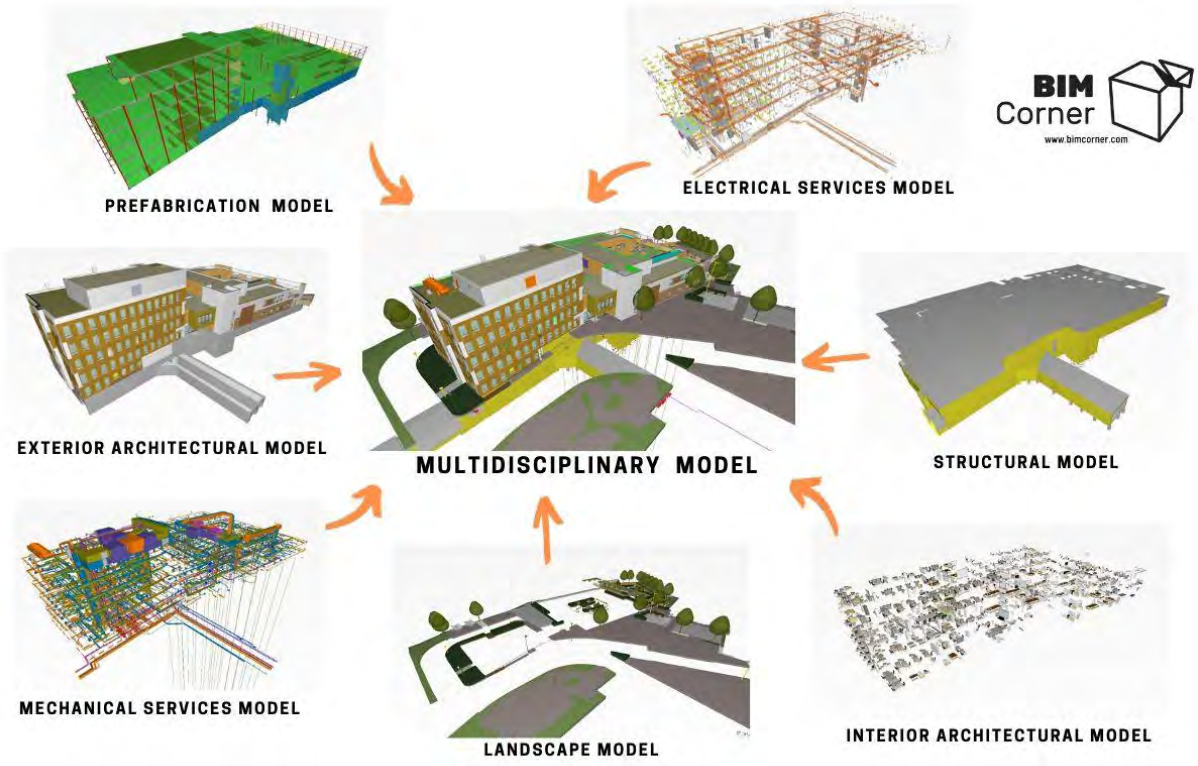


Figure 8.1 : la coordination BIM

Source : bimcorner.com

8.2. Détection de collisions

La détection des collisions est l'une des formes les plus courantes de coordination BIM. Ce processus consiste à automatiser l'identification des conflits potentiels entre différents

éléments avant leur mise en œuvre sur le terrain, en intervenant principalement pendant les phases de conception et de préconstruction.

De nombreux logiciels prennent en charge la détection des collisions, tels que Solibri Model Checker, Navisworks, Tekla BIMsight, Vico Office Constructability Manager, ArchiCAD, Revit, et bien d'autres. Certains, comme Solibri, disposent de fonctionnalités avancées permettant la création de règles personnalisées, tandis que d'autres, comme Revit, offrent des options plus basiques.

Ce processus joue un rôle crucial en identifiant les contradictions entre différents modèles dès la phase de conception. Chaque conflit détecté et résolu à ce stade représente un problème évité pendant la construction, réduisant ainsi les retards et les coûts.

La détection des conflits repose sur la création d'un modèle BIM complexe, intégrant plusieurs modèles provenant de disciplines variées, telles que les ingénieurs MEP, les architectes, et les ingénieurs structure. Ces modèles indépendants sont ensuite fusionnés pour former un modèle coordonné, où la détection des collisions intervient pour garantir la compatibilité entre les éléments.

8.3. Types de conflits[8]

Deux types de conflits sont habituellement manipulés dans un processus de coordination : les conflits **géométriques** et les conflits **non géométriques.**

8.3.1. Les conflits géométriques

Les conflits géométriques peuvent être identifiés à l'aide des modules de détection automatique intégrés dans les logiciels de coordination 3D. Ils correspondent à des conflits physiques, des conflits de dégagement ou des conflits spatio-temporels.

[8] Cette partie est élaborée en s'appuyant sur le Guide de coordination 3D basée sur des maquettes BIM de Forgues.D, et al. (2018)

8.3.1.1. Conflit physique (Hard Clash)

Un conflit physique se produit lorsqu'une collision survient entre deux objets occupant le même espace. Ces objets proviennent généralement de disciplines ou de composants différents. Par exemple, la figure 8.2 montre un conflit physique entre une poutre structurelle (en rouge) et un élément architectural (en vert).

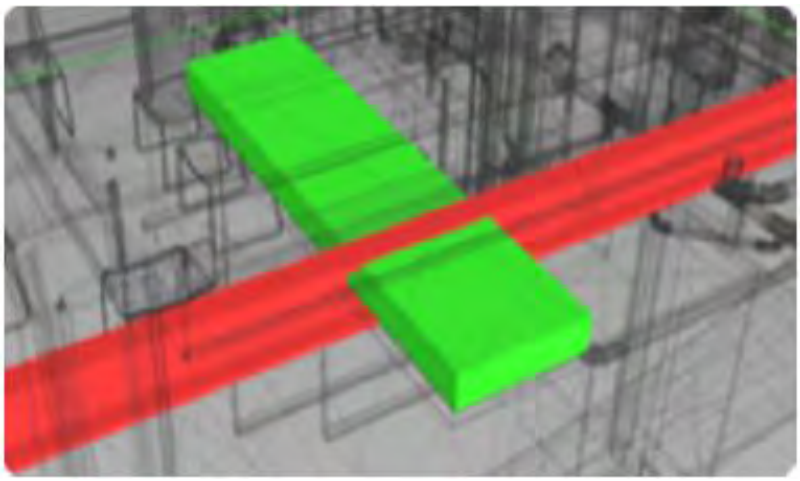


Figure 8.2: Visualisation d'un conflit physique (360 Glue)

Source : (Forgues.D, et al., 2018)

8.3.1.2. Conflit de dégagement (Soft Clash)

Un conflit de dégagement survient lorsque deux objets sont positionnés trop près l'un de l'autre, ne laissant pas suffisamment d'espace pour des accès essentiels, tels que ceux requis pour l'isolation, la sécurité, ou la maintenance.

8.3.1.3. Conflits spatio-temporels :

Ces conflits, fréquemment rencontrés lors des travaux de construction, sont généralement associés à des structures temporaires présentes à des moments spécifiques sur le chantier. Ils concernent divers types d'espaces, tels que les zones de travail, les espaces à risques, les zones protégées ou encore les structures temporaires. Ces interférences peuvent être classées en plusieurs catégories : conflits de conception, problèmes de sécurité, risques de dommages ou situations de congestion. Une gestion proactive de ces conflits permet de limiter leurs impacts. Par exemple, une planification minutieuse des déplacements et du positionnement des grues peut éviter des obstructions de circulation ou des conditions dangereuses sur le chantier.

Identification	Catégorie	Sous-Catégorie	Description
Conflits Géométriques	Dégagement	Dégagement	Les composants interfèrent avec les espaces
	Physique	Deux objets	Interférences physiques de deux simples composants
		Multiples objets	Interférences physiques de plusieurs composants à la fois
	Spatio-Temporel	Temps	Composants occupant le même espace constructible / opérationnel
		Fonctionnel	Les emplacements des composants compromettent la fonction prévue d'un des composants

Tableau 8.1: Classification des conflits géométriques

Source : (Forgues.D, et al., 2018)

8.3.2. Les conflits non géométriques

L'utilisation de logiciels pour la détection automatisée permet également d'identifier les conflits non géométriques. Ces conflits peuvent être détectés soit visuellement, soit en appliquant des règles spécifiques dans certains logiciels. Ils peuvent découler de problèmes comme des informations manquantes, des erreurs de conception ou des éléments nécessitant des clarifications (Clevenger & Carey, 2010).

Le tableau ci-dessous présente une classification des conflits non géométriques.

Identification	Catégorie	Sous-Catégorie	Description
Conflits Non Géométriques	Erreur de conception	Conception illogique	Conflits à l'échelle du système en raison du manque de coordination entre les métiers
		Conflit de systèmes multiples	Les systèmes de bâtiments multiples, impliqués dans une seule zone
		Conflit de conception de métiers	Systèmes condensés et requis, changement de type essentiel
		Détails sur la conception incorrecte	Pas de conception adaptée, trop grande, trop petite, trop grosse
	Manque d'informations	Tel que construit manquant	Construit manquant / informations
		Informations relatives aux objets manquants	Détails relatifs aux composants spécifiques manquants
		Composant modélisé manquant	Modèle de composant pas encore prêt, ou ayant besoin de modifications
	Questionnement	Question	Plus d'information sur les détails du modèle

Tableau 8.2: Classification des conflits non géométriques

Source : Guide de coordination 3D basée sur des maquettes BIM – septembre 2018

8.4. Matrice de gestion des conflits

Une bonne pratique consiste à planifier les tests de collision et à établir ce qu'on appelle une « matrice de collision », qui définit les combinaisons de disciplines et de priorités en fonction du calendrier de construction et des livrables. La planification de la chronologie des tests de collision est essentielle pour minimiser le nombre d'itérations nécessaires entre les mises à jour du modèle.

		ARCHITECTE								STRUCTURE					FLUIDES			VRD				
		Complexes de murs	Cloisons	Emprise de poteaux	Emprise de poutres	Complexes de planchers	Portes	Fenêtres	Pièces	Fondations	Murs	Poteaux	Poutres	Planchers	Réseaux linéaires > 100mm de diamètre	Réseaux linéaires < 100mm de diamètre	Appareils	Terrassements	Voiries	Trottoirs	Appareillages	Réseaux enterrés
ARCHITECTE	Complexes de murs		++	+	+	+	++	++	++	+	++	+	+	+	++	-	-	+	+	0	+	+
	Cloisons			+	+	+	++	++	++	0	+	++	+	+	++	++	++	0	0	0	0	0
	Emprise de poteaux				+	++	+	+	0	+	+	++	+	++	+	+	+	+	0	0	0	0
	Emprise de poutres					+	+	+	0	0	+	+	++	+	++	+	+	0	0	0	0	0
	Complexes de planchers						-	-	0	-	0	+	++	++	++	++	+	++	+	0	+	-
	Portes							+	-	-	++	+	+	+	++	+	+	-	+	0	0	0
	Fenêtres								-	-	++	+	+	+	++	+	+	-	+	0	0	0
	Pièces									0	++	0	0	0	-	-	-	-	0	0	0	0
STRUCTURE	Fondations										++	++	-	+	+	+	0	++	+	0	+	+
	Murs											++	++	++	++	++	++	++	++	0	+	-
	Poteaux												+	+	+	+	+	++	++	0	-	-
	Poutres													++	++	++	++	0	0	0	0	0
	Planchers														++	++	++	++	++	0	++	++
FLUIDES	Réseaux linéaires > 100mm de diamètre															+	++	+	0	0	0	+
	Réseaux linéaires < 100mm de diamètre																++	+	0	0	0	+
	Appareils																	0	0	0	0	0
VRD	Terrassements																		++	++	++	++
	Voiries																			++	++	++
	Trottoirs																				++	++
	Appareillages																					++
	Réseaux enterrés																					

Symbole	Texte	Exemple
0	Niveau de coordination inexistant	Les objets n'ont pas de relations entre eux
-	Niveau de coordination faible	La relation entre les objets existe mais n'est pas traitée (chaque modèle métier est produit sans que cela influe le modèle des autres corps de métier)
+	Niveau de coordination moyen	La relation entre les objets existe mais n'est traitée que partiellement selon l'importance de celle-ci
++	Niveau de coordination élevé	La relation entre les objets existe et est traitée dans son intégralité

Tableau 8.3 : Matrice de gestion des conflits

Source : BS. Mediaconstruct : Guide - Comment rédiger une convention BIM ?

8.5. Le processus de détection des collisions[9]

8.5.1. Étape 1 : Placement correct des modèles les uns par rapport aux autres

Pour que la coordination multidisciplinaire (synthèse) fonctionne correctement, les modèles doivent être précisément calés les uns sur les autres. Nous devons assurer que les modèles que nous combinons ont le même système de coordonnées et sont définis avec précision.

8.5.2. Étape 2 : Sélection des outils de coordination BIM

Actuellement, il existe plusieurs outils de coordination sur le marché, et leur sélection dépend de quelques facteurs. Pour choisir le bon programme, je recommande de commencer par se poser 3 questions simples :

- Les modèles/documentation sont-ils créés dans un ou plusieurs programmes ?
- Quel outil mon entreprise utilise-t-elle actuellement pour la coordination BIM multidisciplinaire ?
- Avons-nous déjà une licence pour un programme de coordination ?

On distingue 3 groupes de programmes permettant de mener une coordination BIM pluridisciplinaire :

Programmes de modélisation :

Si vous utilisez un outil pour modéliser plusieurs disciplines, cela peut être une option pour vous. Par exemple, Autodesk Revit vous permet de vérifier les collisions. Liez simplement les modèles de discipline, puis sélectionnez Vérification de l'interface dans l'onglet Collaborer. Par exemple, vous pouvez voir si des modèles d'installation connectés entrent en collision avec un modèle architectural.

Environnement commun de données :

Quelques CDE sur le marché nous donnent la possibilité d'effectuer une vérification de collision entre différents modèles dans le cloud.

[9] Cette partie est élaborée sur la base d'un article de Ignacy Lozinski, BIM Coordinnateur – développeur de BIM Software, publié sur bimcorner.com

Trimble Connect ou Autodesk BIM 360 font partie de ces outils.

Outils de coordination BIM dédiés :

Ce sont des programmes qui peuvent créer une coordination de modèle avancée. De tels outils vous offrent le plus de possibilités en termes de lecture de fichiers, de détection de collisions, de validation des données du modèle, de création de règles de détection, de regroupement des collisions détectées, de création de rapports de coordination ainsi que d'envoi de rapports au reste des personnes impliquées dans le projet.

Les deux programmes les plus connus et les plus couramment utilisés sont : Solibri Office (anciennement Solibri Model Checker) et Navisworks Manage.

8.5.3. Étape 3 : Exportation correcte des modèles au format IFC

Lors de la coordination multidisciplinaire, les équipes de projet utilisent souvent des logiciels de modélisation différents. Par exemple, les architectes peuvent utiliser ArchiCad, les ingénieurs en structure utilisent Revit, et l'équipe de préfabrication peut travailler avec Tekla. Chacun de ces logiciels est développé par des éditeurs différents et enregistre les modèles dans des formats de fichiers variés. La coordination BIM multidisciplinaire consiste à fusionner ces modèles en un modèle unique qui inclut toutes les disciplines testées. Alors, comment réunir ces modèles créés dans trois logiciels différents ? C'est ici que le format IFC devient indispensable. Chacun des logiciels mentionnés possède la fonction nécessaire pour exporter les modèles au format IFC. Une fois exportés en fichiers IFC, les modèles peuvent être combinés en un seul modèle multidisciplinaire, par exemple avec Solibri.

8.5.4. Étape 4 : Combiner les modèles en un seul modèle multidisciplinaire

La coordination BIM multidisciplinaire consiste à fusionner les modèles dans un modèle collectif qui inclura toutes les disciplines actuellement testées.

Chacun des programmes mentionnés auparavant dispose d'une fonction nécessaire pour exporter le modèle au format IFC.

Nous exportons les modèles vers le fichier IFC, puis les combinons en un modèle multidisciplinaire, par exemple dans Solibri.

8.5.5. Étape 5 : Spécifier l'étendue de la vérification du modèle

Nos modèles disciplinaires ont été combinés en un seul modèle. Maintenant, il convient de considérer la portée de notre coordination BIM. Quelques questions peuvent nous y aider :

- Vérifions-nous uniquement les collisions entre les modèles ou également l'exactitude des informations contenues dans les modèles ?
- Sommes-nous intéressés de savoir si les espaces modélisés répondent aux conditions de conception de la soi-disant : validation de l'espace ?
- Allons-nous vérifier si les installations sont correctement modélisées et ont des distances appropriées par rapport aux éléments de construction ?
- La coordination comprendra-t-elle également la vérification que les distances appropriées entre les installations sont maintenues conformément à la norme ?

8.5.6. Étape 6. Détermination des règles de vérification du modèle (règle de conflits)

Qu'est-ce qu'une règle de conflit ?

Une règle de conflit est une sorte de formule utilisée pour sélectionner des objets spécifiques devant être inclus dans un test de collision.

Il s'agit de règles définies par l'utilisateur qui spécifient quels éléments du modèle sont vérifiés, ainsi que les conditions dans lesquelles un élément donné est considéré comme un cas à signaler (soi-disant : problème).

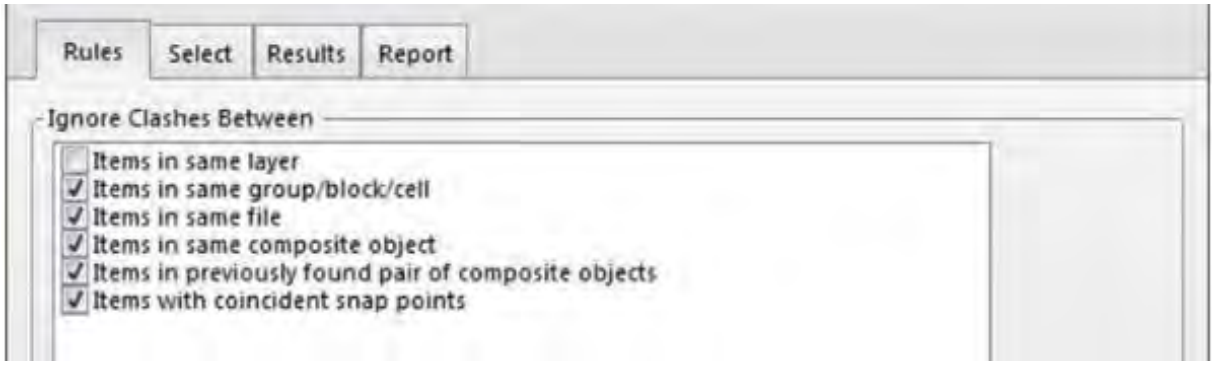


Figure 8.3: Clash rule from Navisworks

Source: bimcorner.com

8.5.7. Étape 7. Réalisation d'une vérification de modèle

Notre modèle est prêt. Il est maintenant temps de le vérifier selon des règles prédéfinies. Dans Solibri, nous allons dans la section Vérification et ouvrons les règles que nous avons définies à l'étape précédente.

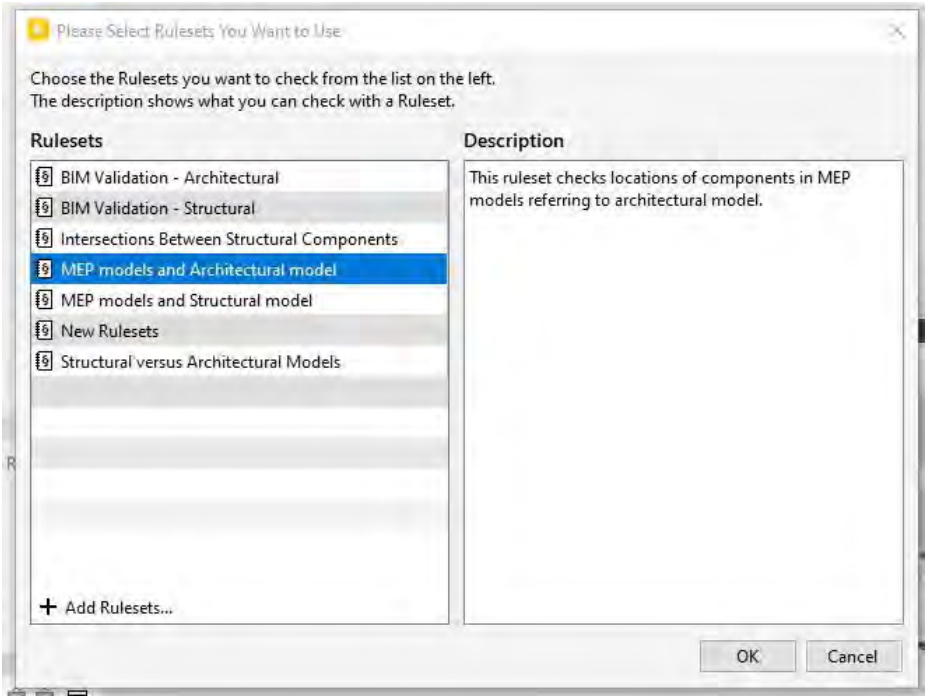


Figure 8.4 : Solibri - choisir les jeux de règles appropriés

Source: bimcorner.com

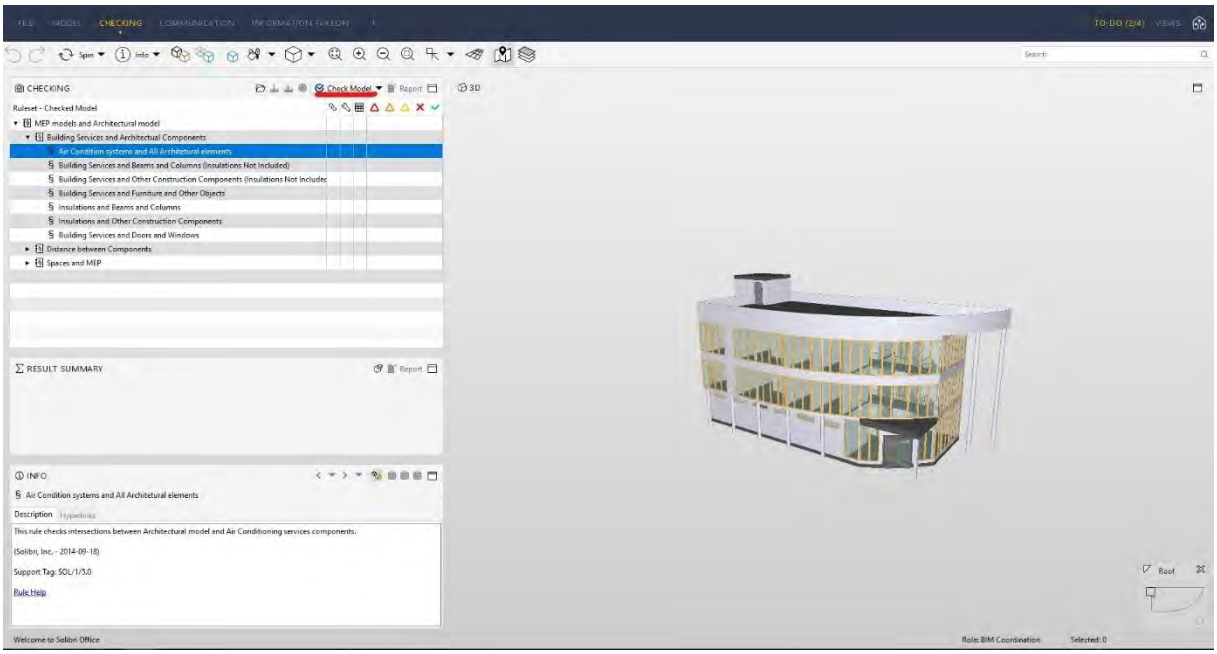


Figure 8.5: Solibri - vérification des modèles

Source: bimcorner.com

Après vérification, dans le panneau Résultats, nous avons reçu automatiquement des problèmes regroupés, que le programme a considérés comme des collisions.

Comme nous pouvons le voir, nous avons eu 15 collisions de ventilation avec un plafond suspendu et 26 avec des murs.

Nous considérons que les collisions avec des espaces ne sont pas pertinentes dans ce cas et les acceptons immédiatement.

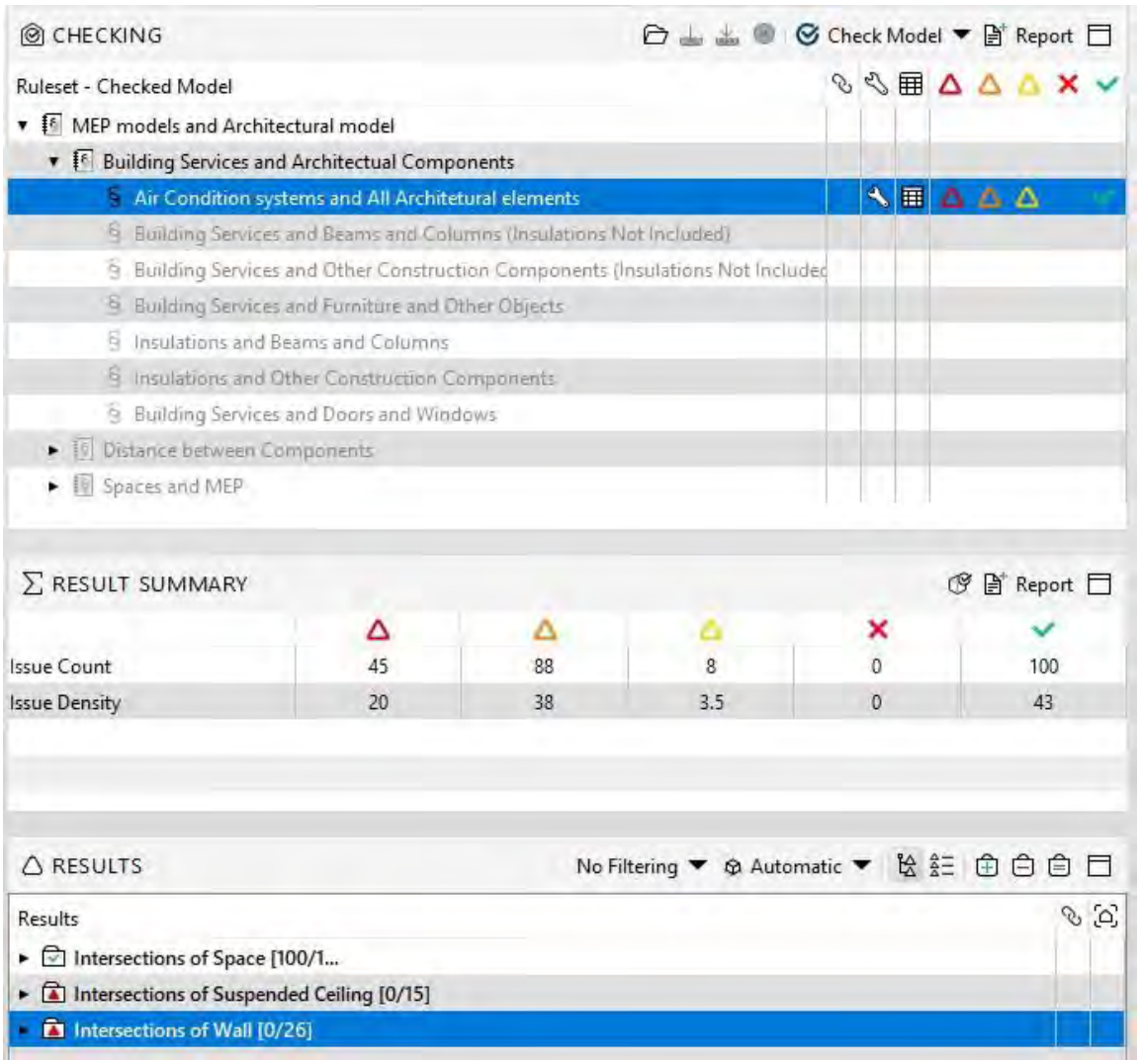


Figure 8.6 : Solibri - résultats du contrôle de collision

Source: bimcorner.com

En cliquant sur les problèmes individuels, nous pouvons voir où ils se trouvent.

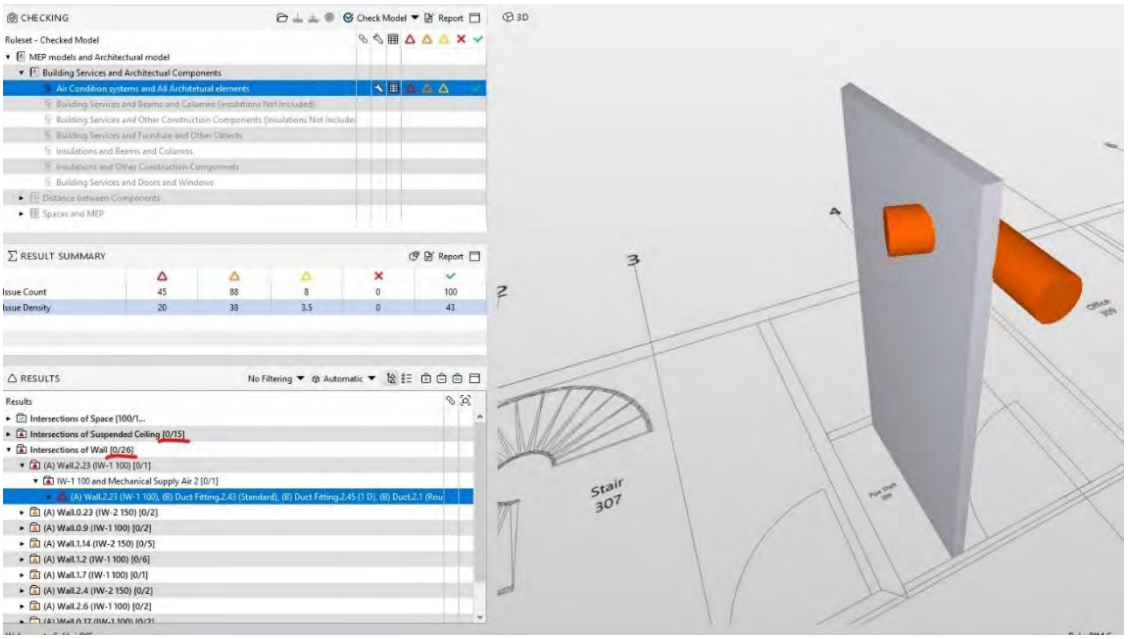


Figure 8.7 : Collision dans Solibri entre le mur et le système HVAC

Source: bimcorner.com

8.5.8. Étape 8. Affectation des résultats du contrôle aux personnes concernées

Le coordinateur BIM doit vérifier, décrire et attribuer chaque collision à la personne responsable de la résolution du problème.

Dans Solibri par exemple, nous spécifions qui est responsable de la collision, ajoutons la date à laquelle le cas doit être clarifié, définissons le statut de collision (Attribué) et rédigeons un court commentaire expliquant le problème.

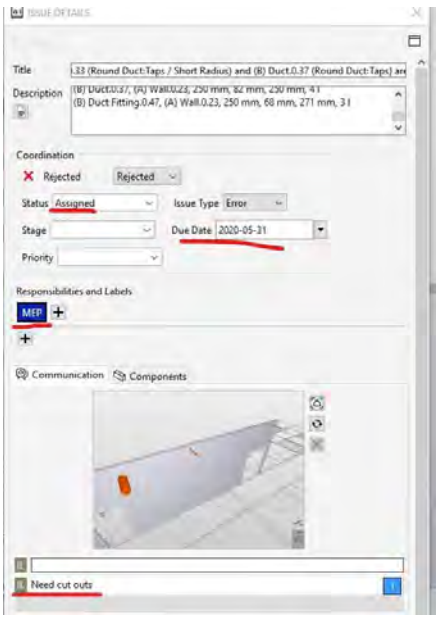


Figure 8.8 : Solibri - commenter et déléguer le problème de collision

Source : bimcorner.com

8.5.9. Étape 9 : Envoi des rapports de coordination BIM

Une fois passées en revue toutes les collisions reçues dans le panneau de vérification et les avoir attribuées à des personnes particulières, il faut communiquer aux membres de l'équipe concernés que les collisions attendent qu'elles soient résolues.

Comment fait-on cela ? Nous utilisons justement **des rapports**.

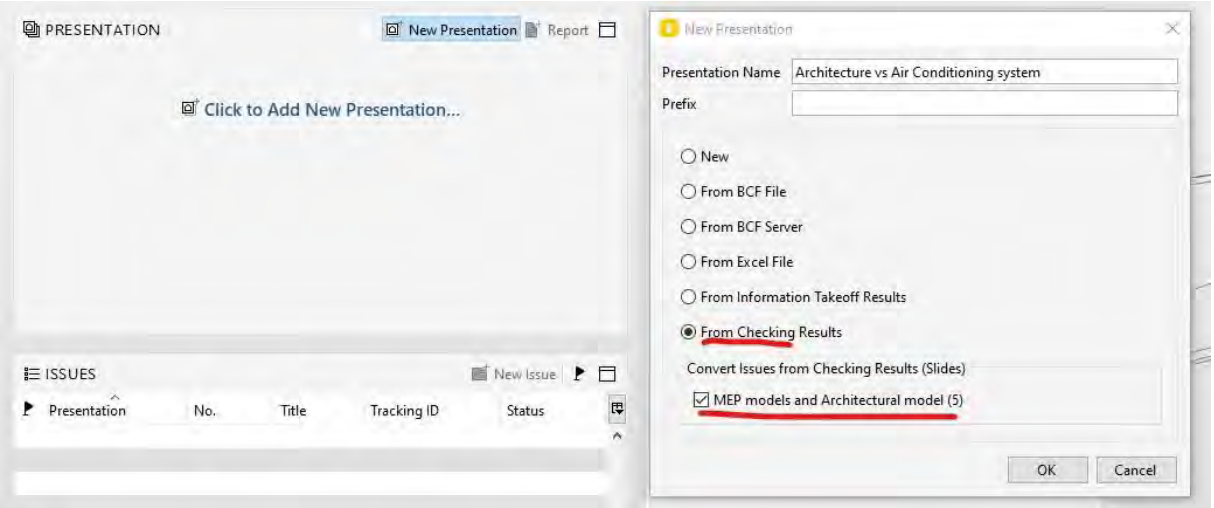


Figure 8.9 : Création de la présentation des résultats de coordination dans Solibri

Source : bimcorner.com

L'envoi d'un tel rapport dans Solibri est une opération assez simple :

1. Entrez dans la section Communication et créez une présentation dans le panneau Présentation,
2. Appuyez sur le bouton Nouvelle présentation. Nommez la présentation pour suggérer le type de cas qu'elle contient (dans notre cas, Architecture versus Climatisation). Choisissez ensuite À partir de la vérification des résultats.
3. La présentation ainsi préparée peut être envoyée sous forme de rapport en cliquant sur le bouton Rapport.
4. Ici, nous pouvons choisir la forme du rapport de collision. Nous pouvons l'exporter vers Excel, créer un PDF ou l'envoyer dans le BCF ouvert (format de collaboration BIM)

8.5.9. Étape 10 : analyse des résultats des rapports

L'analyse des rapports peut être effectuée de différentes manières. Par exemple, nous pouvons utiliser Excel ou Microsoft Power BI.

Il y a aussi l'outil BIM Collab, qui, en plus de conserver tous les problèmes signalés au même endroit, donne également la possibilité de visualiser les rapports.

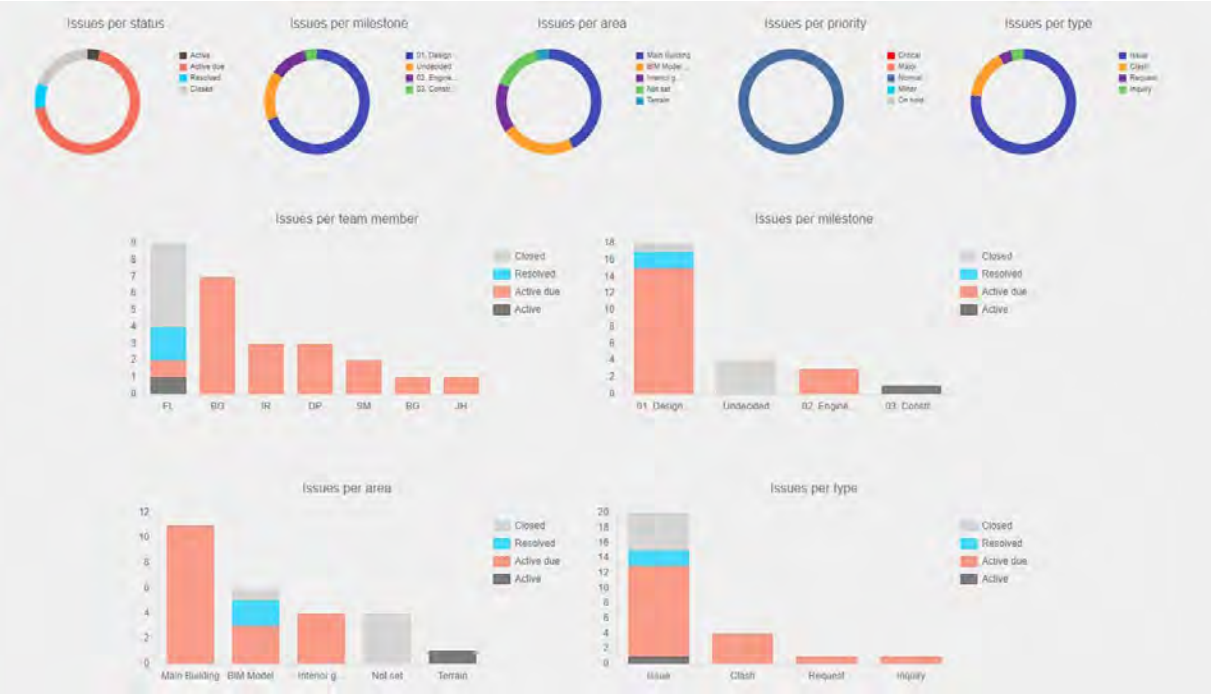


Figure 8.10 : Diagrammes de rapport de collisions dans BIM Collab

Source : bimcorner.com

Chapitre 9 : Planification et 4D

9.1. Définitions et principes

9.2. La planification avant le BIM

9.3. Fonctionnement d'un logiciel de planning 4D

9.4. Simulation de planification

Chapitre 9 : Planification et 4D

9.1. Définitions et principes

Le concept de planification « 4D », qui évoque les quatre dimensions, peut prêter à confusion au départ : comment peut-on intégrer une quatrième dimension dans un espace qui semble uniquement tridimensionnel ?

Pour clarifier cela, Wikipédia apporte d'abord une explication géométrique :

Un point déplacé forme un segment, un segment déplacé donne un carré, un carré déplacé donne un cube, et un cube déplacé donne un tesseract (ou hypercube).

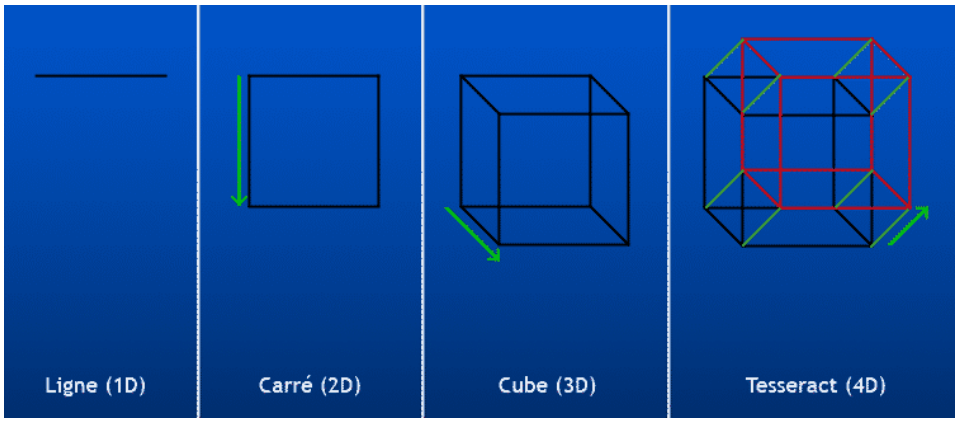


Figure 9.1 : La 4D est obtenue par ajout d'une dimension à un cube…

Source : bimbtp.com

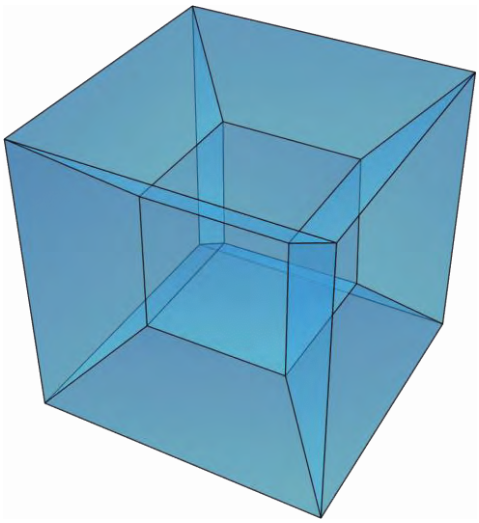


Figure 9.2 : La 4D est généralement représentée sous la forme d'un Hypercube

Source : bimbtp.com

Dans l'industrie de la construction, la planification 4D consiste à détenir un modèle 3D (maquette numérique) et de lui ajouter une dimension supplémentaire : le temps.

Autrement, La modélisation BIM 4D est le processus qui crée des connexions intelligentes entre la maquette numérique 3D (qui définit la géométrie de l'ouvrage) et les informations relatives au temps d'exécution des différentes activités nécessaires à la création de l'ouvrage.

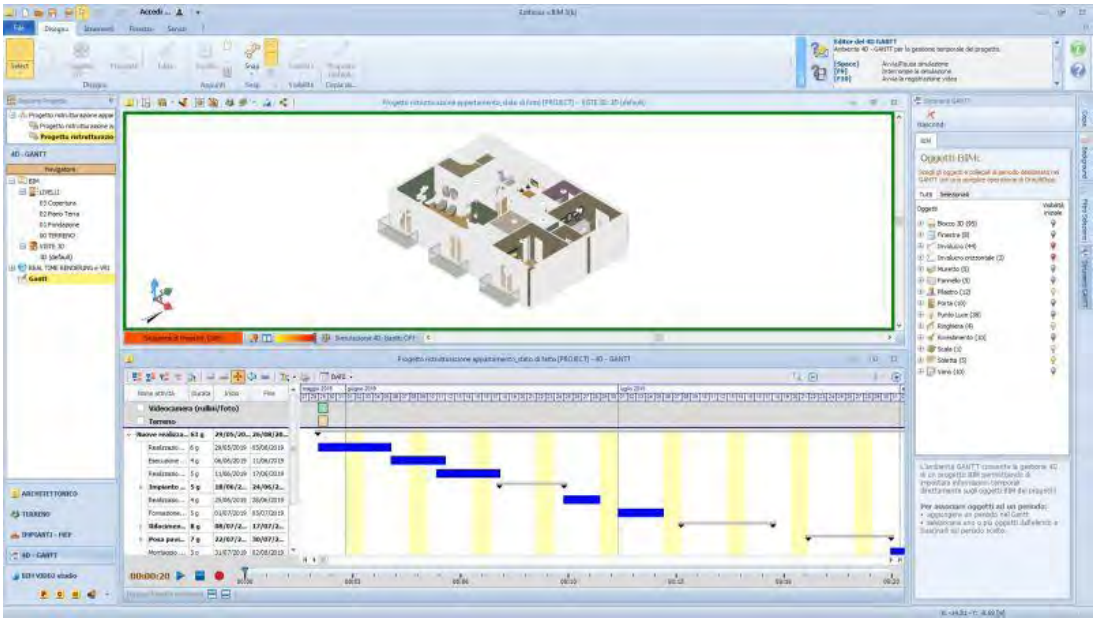


Figure 9.3 : Interface de la modélisation et de la WBS dans un diagramme de GANTT issu du logiciel Edificius

Source : biblus.accasoftware.com

Le résultat est un modèle d'information détaillé qui permet également de créer des simulations réalistes du processus de construction en fonction du temps. L'objectif est de répertorier toutes les activités d'un chantier (similaire à un calendrier classique), de visualiser leur progression au fil du temps, et de fournir aux entrepreneurs la possibilité d'identifier, d'analyser et d'anticiper les problèmes liés aux aspects séquentiels, spatiaux et temporels du projet.

9.2. La planification avant le BIM

Dans le passé, les modélisations 4D étaient réalisées manuellement par la personne chargée de gérer les différentes activités (construction, conception, gestion du chantier, etc.). Le résultat final était une chronologie basique, avec des activités distinguées par des couleurs différentes. Cependant, il n'y avait pas de lien direct entre la modélisation et les activités, ce

qui obligeait à recréer l'ensemble du calendrier à chaque modification de la maquette.

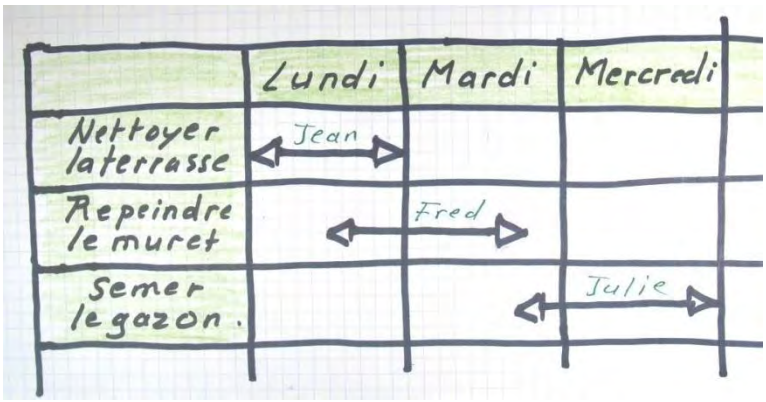


Figure 9.4 : diagramme de Gantt

Source : methodo-projet.fr

Par la suite, nous avons adopté un logiciel de CAO, ce qui a permis de numériser les informations auparavant sur support papier. Dans ce cas, les activités étaient également différenciées par des couleurs, mais elles disposaient d'options d'activation et de désactivation, rendant ainsi la modélisation plus interactive.

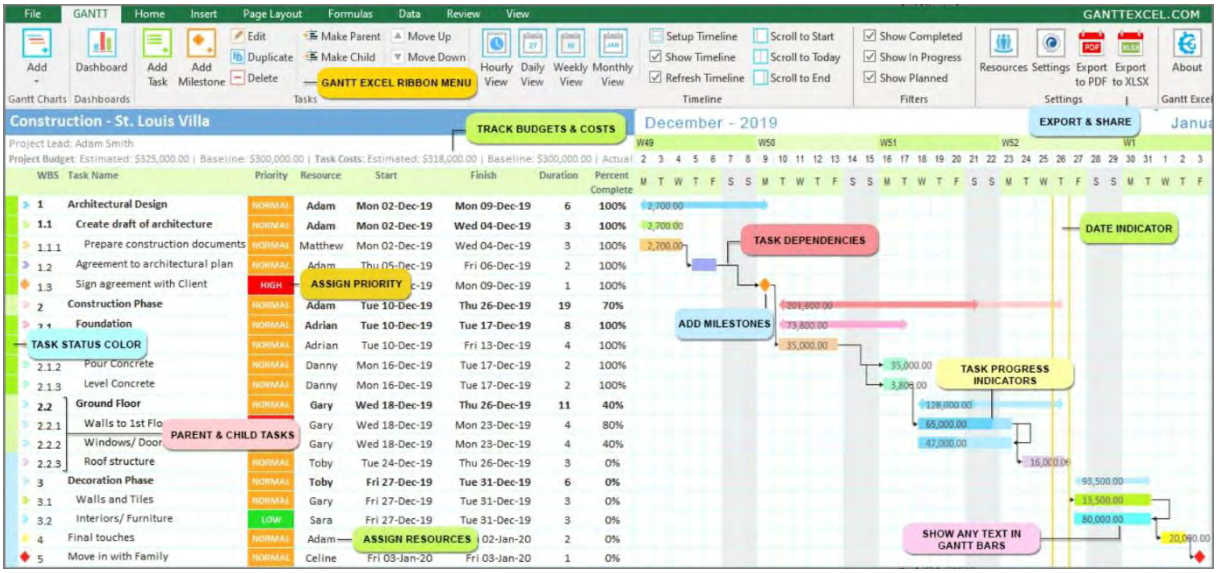


Figure 9.5 : diagramme de Gantt géré par un logiciel

Source : ganttexcel.com

Il est devenu possible de créer des images et des animations pour mieux illustrer l'emploi du temps, grâce à la collaboration entre les différentes parties prenantes. Cependant, il n'était toujours pas possible de lier directement la modélisation aux activités. En effet, même dans ce cas, chaque modification de la modélisation nécessitait une mise à jour manuelle du calendrier, des vidéos et des images. Aujourd'hui, avec le développement continu du BIM, les logiciels de

modélisation 4D permettent de mieux gérer les différentes activités. Vous pouvez garder la modélisation 4D constamment synchronisée avec les différentes modifications apportées.

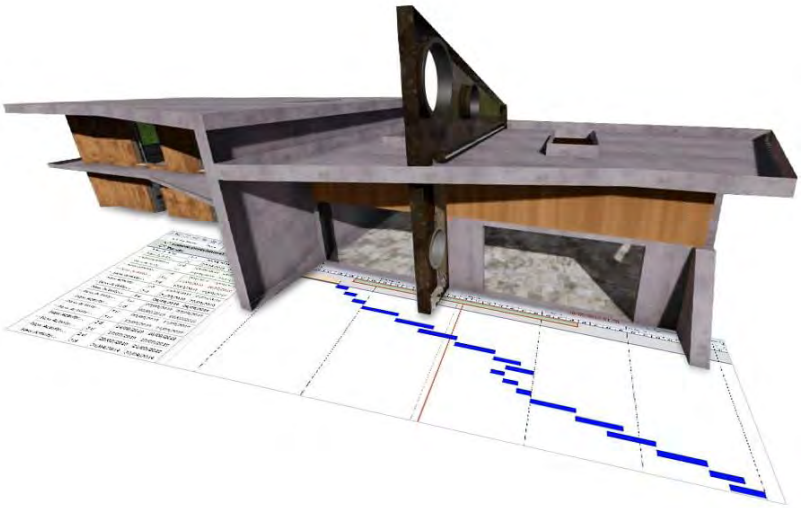


Figure 9.6 : Évolution temporelle du projet - timeline GANTT en Rendu en Temps Réel - réalisé avec Edificius

Source : biblus.accasoftware.com

Un planning classique, présenté sous forme de diagramme de Gantt, répond à la question « Qui fait quoi, quand ? ». En revanche, un planning 4D apporte une réponse plus complète en incluant la dimension du lieu, c'est-à-dire « Qui fait quoi, quand et où ? ». Il s'agit ainsi d'un phasage appliqué à une maquette numérique.

Ce type de planning ne peut pas être consulté sous forme de document papier unique, mais doit être visualisé de différentes manières, telles que :

- En vidéo,
- En imprimant un carnet qui décrit la séquence des « phases clés » du projet,
- Ou en utilisant un logiciel sur ordinateur, qui superpose le modèle 3D au diagramme de Gantt, comme Autodesk Navisworks ou « Ceapoint Desite MD ».

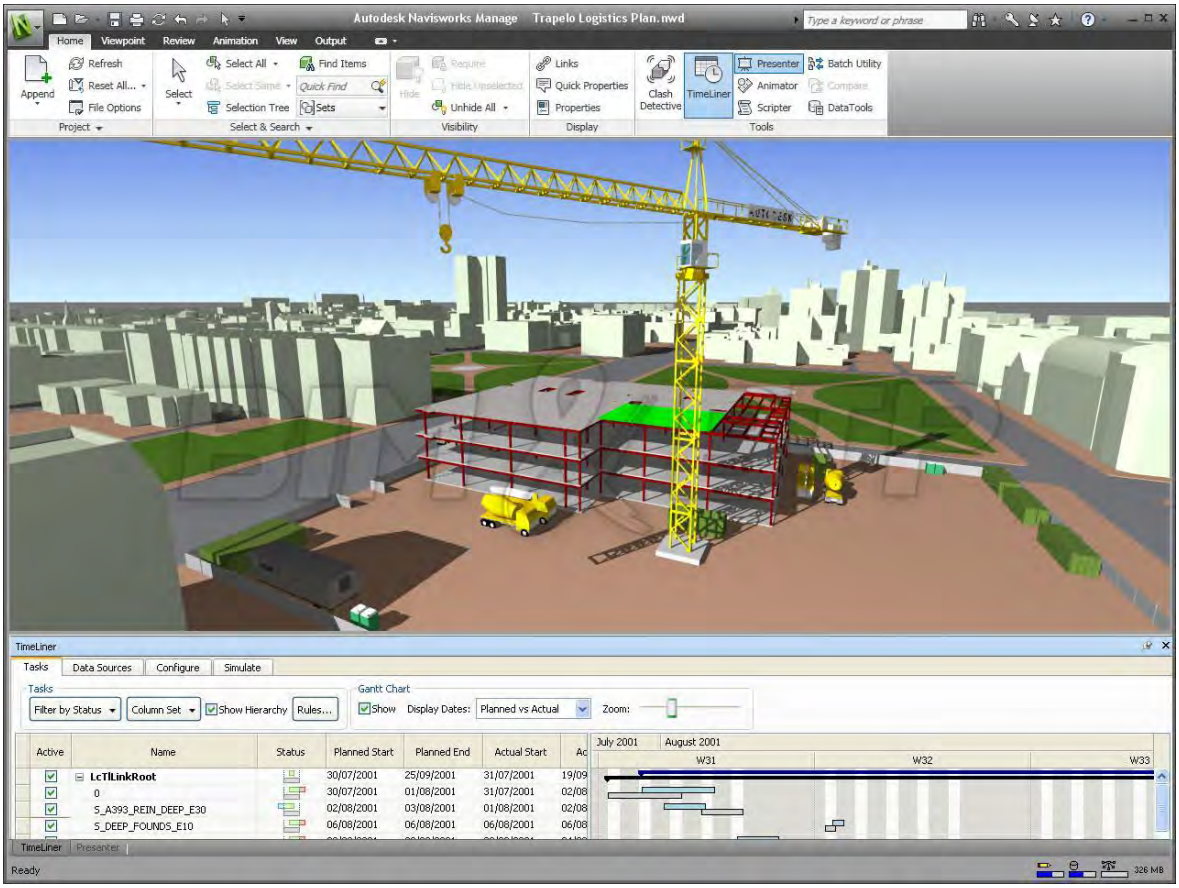


Figure 9.7 : Autodesk Naviswork pour la planification 4D

Source : bimbtp.com

9.3. Fonctionnement d'un logiciel de planning 4D

- La planification 4D s'effectue à l'aide d'un logiciel spécialisé, qui permet d'importer la maquette numérique (MN) au format IFC ou dans son format natif.
- Le logiciel de planification récupère la maquette numérique, où chaque objet est identifié par un identifiant unique et global (GUID - Globally Unique Identifier).
- La planification, c'est-à-dire l'attribution des dates de réalisation à chaque objet, peut se faire soit manuellement, en créant un diagramme de Gantt complet dans le logiciel de planification 4D, soit en important un planning préalablement réalisé dans un logiciel externe comme Microsoft Project.
- Une fois que chaque objet a été lié à une tâche du planning, il devient possible de déplacer le « curseur d'avancement » le long de l'échelle temporelle pour observer l'évolution de la maquette 3D. On peut également ajuster l'apparence des éléments,

comme par exemple colorier en vert les ouvrages en construction, en rouge ceux qui sont démolis, et en gris ceux qui sont déjà terminés.

-

-

Figure 9.8 : logistique et animation d'une gestion d'un chantier

Source : bimbtp.com

9.4. Simulation de planification

L'environnement GANTT d'Edificius offre une interface claire et facile à utiliser. En un seul écran, l'utilisateur peut visualiser à la fois le modèle 3D et le diagramme GANTT.

La création du GANTT s'effectue par la construction d'un WBS (Work Breakdown Structure - structure de répartition des tâches), permettant de décomposer le projet en sous-éléments (périodes) et de les lier aux objets du modèle à l'aide de la fonction Glisser & Déposer.

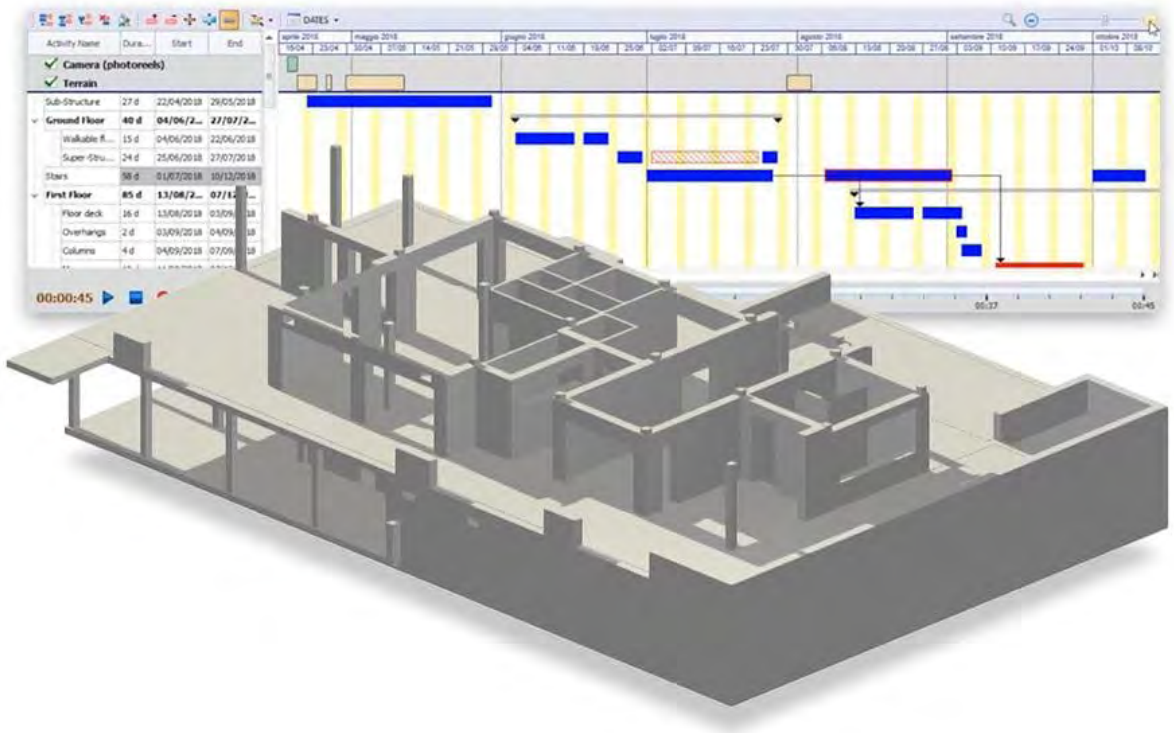


Figure 9.9 : Construction de la WBS - réalisé avec Edificius

Source : biblus.accasoftware.com

Pour simplifier et accélérer votre travail, vous avez la possibilité de sélectionner des objets directement dans la vue 3D. Ces objets apparaissent dans la boîte à outils "GANTT", et grâce à la fonction Glisser & Déposer, vous pouvez facilement les affecter au diagramme GANTT.

De plus, en utilisant la ligne du temps du GANTT, vous pouvez suivre l'évolution du projet, depuis le début de la construction jusqu'à la fin de l'ouvrage. Pour une expérience visuelle améliorée, vous avez également la possibilité de consulter la chronologie du projet à travers la vue "Rendu en Temps Réel"

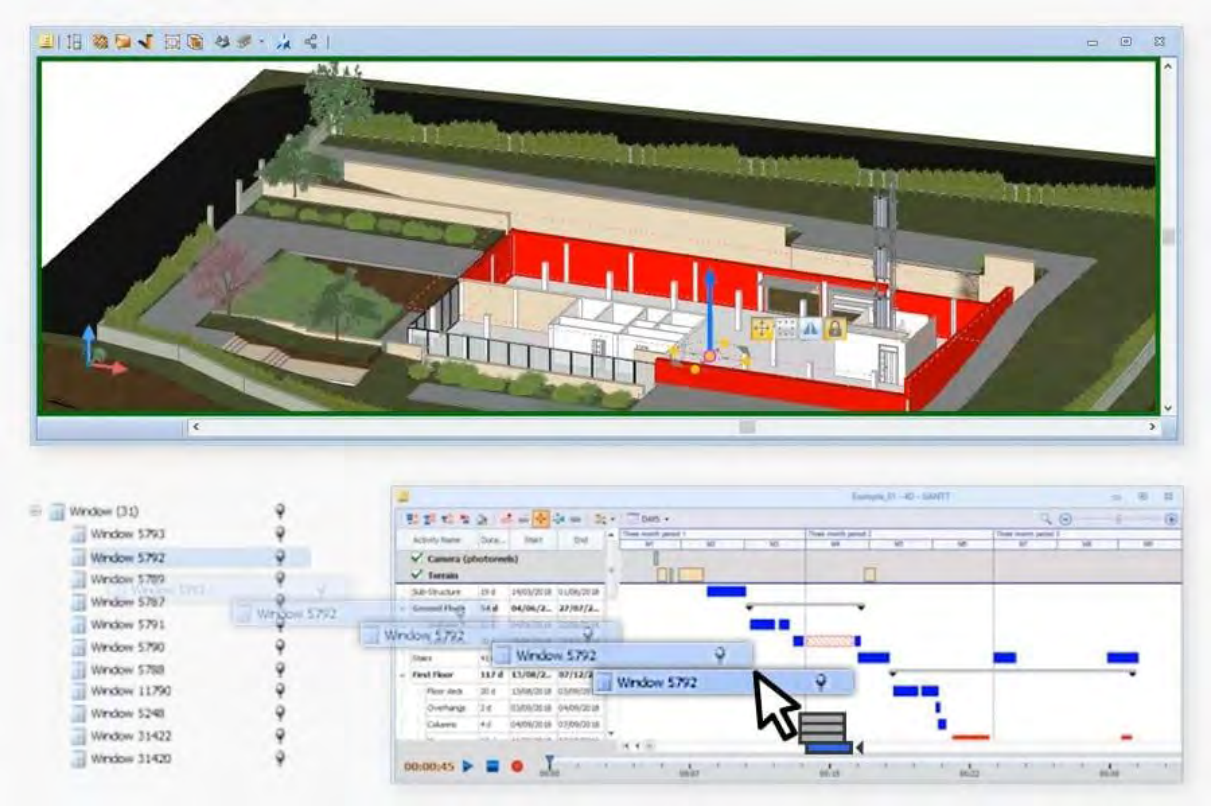


Figure 9.10 : Affectation des objets BIM aux activités pour création diagramme de Gantt - réalisé avec Edificius

Source : biblus.accasoftware.com

Chapitre 10 : BIM et le développement durable

10.1. Introduction

10.2. La conception et la sensibilisation à la durabilité

10.3. La conception durable

10.4. Comment le BIM contribue pour une conception durable

10.5. Du BIM au BEM (Building Energy Model), la modélisation énergétique du système bâtiment

Chapitre 10 : BIM et le développement durable

10.1. Introduction

La prise de conscience accrue de la consommation d'énergie a suscité des inquiétudes concernant plusieurs impacts environnementaux tels que l'appauvrissement de la couche d'ozone et le réchauffement climatique. En raison du taux de croissance alarmant du réchauffement climatique, de nombreux concepteurs et entreprises sont conscients du besoin de structures plus économes en énergie. Bien que de nombreuses entreprises dans le monde entier œuvrent déjà pour réduire la consommation énergétique et les émissions de carbone de la construction des bâtiments, les efforts déployés pour parvenir à des solutions durables n'ont pas encore atteint leur plein potentiel dans la création de nouvelles générations de bâtiments verts à haute performance.

Les solutions durables sont importantes pour la progression et la préservation de toute économie, société et/ou environnement. L'utilisation du BIM avec l'équipe de projet qualifiée aide à réaliser ces solutions durables. Cette intégration entre une équipe de projet qualifiée et des outils BIM appropriés apporte une meilleure qualité dans les phases de conception ainsi que la phase de construction.

Ce chapitre fournit une meilleure compréhension de la logique du BIM pour la conception durable. L'objectif principal est d'évaluer l'utilisation du BIM pour la conception de bâtiments durables en comparant la conception de bâtiments durables en théorie à la conception de bâtiments durables dans la pratique.

10.2. La conception et la sensibilisation à la durabilité

La conception et la construction ont toujours fait partie de l'activité humaine. Tout au long de l'histoire, la durabilité a, sous une forme ou une autre, été appliquée à la conception, malgré le fait qu'il y a des siècles, la technologie de pointe n'existait pas. Il n'y a pas de calendrier précis du début de la durabilité (Arayici, 2015). Selon (Krygiel & Nies, 2008), la mise en œuvre de la pensée durable est bien ancienne. Les bâtiments, conçus et construits selon des principes durables, n'ont pas seulement été fabriqués à partir de ressources naturelles présentes dans l'environnement, mais ont également été conçus et construits pour exister dans

l'environnement. Par exemple, les habitants de la région centrale de l'Arctique canadien ont construit des igloos faits de glace provenant de leur environnement (figure 10.1). Ces structures ont été construites dans le but de résister au vent et de créer une masse thermique, tout comme le tipi (figure 10.1), construit par les Amérindiens et façonné à partir de matières animales et végétales naturelles de leur région. (Arayici, 2015)

Figure 10.1: Igloo fabriqué à partir de neige et tipi amérindien fabriqué à partir de ressources naturelles

Source : ledauphine.com

Selon Kibert (2016), le mouvement de construction écologique des temps modernes a été déclenché en répondant à deux questions majeures. Premièrement, « Qu'est-ce qu'un bâtiment écologique à haute performance ? » Cette question est très importante pour comprendre ce qu'est un bâtiment écologique. La deuxième question est « Comment déterminer si un bâtiment répond aux exigences de cette définition ? » Pour répondre à la deuxième question, les concepteurs doivent mettre en œuvre un système d'évaluation des bâtiments, qui met à disposition un système d'évaluation détaillé pour ces bâtiments innovants. Les projets de bâtiments performants commencent à répondre à trois grands changements de paradigme : la proximité des bâtiments par rapport aux sources de production d'énergie, le défi du changement climatique et la demande de bâtiments économes en ressources.

Kibert (2016) a déclaré que le premier pas en avant dans la réflexion et la méthodologie s'est d'abord produit au Royaume-Uni avec le lancement d'un système d'évaluation des bâtiments connu sous le nom de Building Research Establishment Environmental Assessment Method

(BREEAM). BREEAM a été instantanément reconnu par l'industrie AEC car il s'agissait d'un moyen d'évaluer les performances d'un bâtiment et proposait une définition standard pour un bâtiment écologique. BREEAM a présenté le premier effort pour évaluer avec succès les bâtiments sur une grande variété de facteurs qui englobent non seulement la performance énergétique d'un bâtiment, mais aussi la consommation d'eau, l'emplacement, la qualité de l'environnement intérieur, les impacts environnementaux, l'utilisation de matériaux, pour ne citer que quelques-unes des classifications générales qui peuvent être intégrées à l'évaluation. Le tableau 10.1 présente une liste de vingt-neuf des soixante pays qui disposent d'organismes d'évaluation durable.

Australia	Nabers/Green Star	Mexico	LEED Mexico
Brazil	AQUA/LEED Brazil	Netherlands	BREEAM Netherlands
Canada	LEED Canada/Green Globes/Built Green Canada	New Zealand	Green Star NZ
Czech Rep	SBToolCZ	Philippines	BERDE/Philippine Green Building Council
China	GBAS	Portugal	Lider A
Finland	PromisE	Taiwan	China Green Building Network
France	HQE	Singapore	Green Mark
Germany	DGNB/CEPHEUS	South Africa	Green Star SA
Hong Kong	HKBEAM	South Korea	KGBC
India	Indian Green Building Council (IGBC)/(GRIHA)	Spain	VERDE
Indonesia	Green Building Council Indonesia	Switzerland	Minergie
Italy	LEED/Italy/protocollo Itaca/ GBCouncil Italia	United States	LEED/Living Building Challenge/ Green Globes
Japan	CASBEE	UAE	Estidama
Jordan	EDAMA	UK	BREEAM
Malaysia	GBI Malaysia		

Tableau 10.1: Organismes d'évaluation de la durabilité dans différents pays

Source: (Kibert, 2016)

10.3. La Conception durable

Selon Krygiel et Nies (2008), la conception durable est considérée comme meilleure que la conception verte (green design). En effet, la conception durable prend en considération un plus large éventail d'impacts (impact social, impact économique et impact environnemental) tandis

que le terme conception verte est utilisé pour décrire seulement des conceptions qui ont un impact moindre sur l'environnement naturel.

La nécessité d'une conception et d'une construction durables est devenue un objectif commun pour la conception des bâtiments en général. Selon McLennan (2004), la signification du dictionnaire du mot « durable » ou « durabilité » ne décrit pas ce qu'est une conception durable, car dans le domaine de la conception durable d'aujourd'hui, la plupart des concepteurs veulent que le terme signifie plus que simplement « préserver » ou « maintenir ». Par conséquent, cela signifie beaucoup plus qu'une définition de dictionnaire.

Une définition plus complète, citée par Krygiel et Nies (2008), est la définition de la Commission Brundtland qui a défini la description primordiale de la conception durable en 1987. Cette définition stipule que le développement durable signifie répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des futures générations pour répondre à leurs propres besoins.

Au cours des années 1980 et 1990, les efforts de conception et de conservation durables ont pris de l'ampleur. Au fil du temps, la technologie a contribué à améliorer les processus de conception et de construction de telle sorte que les ressources soient utilisées au maximum, que les pertes de temps soient réduites et que les séquences de construction deviennent faciles à suivre via des simulations technologiques (Arayici, 2015).

10.4. Comment le BIM contribue pour une conception durable

Le BIM, à travers sa 6eme dimension 6D, vise à améliorer l'environnement par la création de structures durables. Il englobe des processus techniques et de gestion pour maximiser le temps, les ressources et le capital. Eastman et al. (2011) ont déclaré que le BIM aide à intégrer davantage les procédures de conception et de construction et à améliorer la qualité du bâtiment à un coût et un délai réduit lorsqu'il est adopté de manière appropriée. Un rapport publié en 2017 par Audier et al. dans le Boston Consulting Group a montré que l'adoption des technologies digitales pourrait réduire jusqu'à 20 % les coûts des projets de construction d'ici 10 ans.

En France, le ministère du Logement a lancé en 2014 un plan à hauteur de 20 millions d'euros afin d'encourager les acteurs du bâtiment à adopter le BIM. L'objectif étant la réduction des

coûts de construction et la possibilité de bâtir des logements de meilleure qualité environnementale.

Le premier apport majeur du BIM est lié aux simulations énergétiques. Les données accumulées des différentes simulations permettent aux acteurs du projet de faire les bons choix pour limiter les pertes énergétiques de tous types.

Dans cette section, l'objectif sera d'évaluer le BIM en tant que système d'amélioration de la durabilité dans la conception et la construction d'un bâtiment en passant par l'analyse énergétique, la forme du bâtiment, l'orientation, l'éclairage…etc.

10.4.1. Analyse énergétique :

Selon Azhar et al. (2011), la capacité du BIM en tant que processus collaboratif permettant d'intégrer des données multidisciplinaires dans un modèle unique offre aux équipes de projet la possibilité d'intégrer des paramètres de durabilité dans la modélisation du bâtiment ; cela sert de base à la simulation et à l'analyse de la performance de durabilité des bâtiments (Ahn et al., 2014; Olawumi, Chan, & Wong, 2017). Moakher & Pimplikar (2012) ajoute que le BIM permet d'obtenir une analyse énergétique via différents logiciels selon le type d'analyse recherché, et que cet aspect particulier du BIM dans le domaine de la durabilité est d'une importance écologique.

10.4.2. La forme du bâtiment :

Le BIM permet à un concepteur d'explorer différentes formes pour le bâtiment à travers un environnement virtuel qui est créé pour imiter l'environnement réel où le bâtiment sera construit (Krygiel & Nies, 2008).

Ce système donne aux concepteurs la possibilité de concevoir des formes de bâtiment alternatives, en utilisant le même espace, et de tester les performances des alternatives de conception avant qu'une décision finale ne soit prise. La culture, le climat et l'emplacement ont divers effets sur la forme du bâtiment, car ces facteurs peuvent influer sur le potentiel des résultats de conception durable (Arayici, 2015).

10.4.3. Orientation appropriée du bâtiment avant la construction :

L'orientation du bâtiment dans la conception durable concerne le positionnement d'un bâtiment sur le site en fonction du soleil. Selon Arayici (2015), l'orientation solaire du bâtiment et le positionnement des ouvertures peuvent avoir un impact sur la consommation énergétique du bâtiment ainsi que sur le confort des usagers. Au stade de l'esquisse, l'orientation du bâtiment peut être mieux spécifiée avec des outils de modélisation BIM tels que Revit qui peuvent aider à l'analyse et aux simulations d'ensoleillement et d'ombre afin de décider de la meilleure orientation du bâtiment qui permet la plus faible consommation énergétique.

10.4.4. Optimisation de l'éclairage naturel :

Il est clair que d'avoir un bon éclairage naturel d'un bâtiment permet de réduire la consommation d'énergie nécessaire à l'éclairage artificiel des espaces intérieurs. Une très bonne configuration d'éclairage diurne dépend de la volumétrie, de l'orientation et de l'enveloppe du bâtiment. La combinaison correcte de ces aspects dans la conception d'un bâtiment à travers le BIM aide les concepteurs à optimiser l'utilisation des actifs réguliers d'un bâtiment et à minimiser la dépendance des utilisateurs à l'éclairage artificiel (Krygiel & Nies, 2008).

10.4.5. Simulation de séquence de construction :

Le BIM permet à une équipe de projet de vérifier leurs maquettes numériques pour détecter les conflits, de simuler des séquences de construction et de les tester pour déterminer s'ils sont réalistes ou non afin de générer des alternatives lors de la phase de pré-construction (Eastman, 2011).

Une telle vérification aiderait dans les phases de conception à éviter les coûts supplémentaires et les litiges pendant la phase de construction proprement dite. Il existe plusieurs modèles conçus pour chaque discipline tels que le BIM architectural, le BIM structure, le BIM MEP (mechanical, electrical and plumbing). Ces modèles sont intégrés ensemble constituant un modèle fédéré pour vérifier les éventuels conflits entre eux.

Les deux outils populaires de vérification de modèles ou d'intégration de modèles utilisés par l'industrie AEC sont les outils Naviswork et Solibri.

10.4.6. L'évaluation financière du projet :

Selon Arayici (2015), le BIM dans les projets de construction peut être utilisé pour des évaluations financières telles que l'évaluation des dépenses et l'anticipation des salaires des entreprises. Kats et al. (2003) ont noté que bien que l'intégration du BIM puisse coûter un projet comme une augmentation de 2 % du coût initial de la construction, de tels projets permettent de réaliser des économies importantes sur les coûts du cycle de vie du projet, qui peuvent représenter jusqu'à 20 % du coût de la construction initiale.

Selon l'étude d'Azhar et al. (2011), les bâtiments verts sont économiquement viables avec peu ou pas d'impact environnemental sur l'environnement immédiat. McGraw-Hill Construction (2010) a souligné que la bonne intégration du BIM vert (Green BIM) dans la construction permettrait aux équipes de projet de piloter avec succès un projet de construction généralement complexe et sophistiqué de manière collaborative.

10.4.7. Amélioration de la gestion du cycle de vie/des installations :

La plupart des particuliers ou des organisations consacrent une grande partie de leur investissement à l'entretien de leur propriété. Les outils BIM peuvent être utilisés pour tester les performances d'un bâtiment avant sa construction afin d'analyser comment il fonctionnera réellement une fois construit. Ce processus aide le client à économiser des ressources telles que du temps et du capital. Du point de vue du concepteur, cela permet de gagner du temps en termes de gains d'efficacité. Les avantages importants comprennent :

- Une meilleure compréhension des besoins actuels et des options du bâtiment grâce à une évaluation rapide de l'espace et de l'énergie.
- Amélioration de la communication des exigences (entre maitre d'ouvrage et maitre d'œuvre) et des options/intentions du projet.
- Réduction des dépenses et gain du temps dans le développement de projet.

- Transmission des informations entre les acteurs du projet telles que construites réellement.
- Reduction des frais de maintenance et autres dépenses de fonctionnement.
- Estimation des dépenses plus précise et préalable.
- Réduction du gaspillage.

10.5. Du BIM au BEM (Building Energy Model), la modélisation énergétique du système bâtiment

On a vu qu'avec la modélisation numérique, il est possible de créer un modèle virtuel du bâtiment qui contient les données géométriques ainsi que toutes les données énergétiques. Grâce à cette modélisation énergétique, le concepteur, en procédant à des analyses dans les différentes phases de conception, il pourra prévoir le comportement réel du bâtiment avant même sa construction. Par conséquent, il pourra identifier les problèmes de conception et proposer des solutions optimales pour optimiser la consommation énergétique du bâtiment. Cette modélisation BIM qui identifie le modèle énergétique du bâtiment est connue sous l'acronyme *BEM, Building Energy Model*.

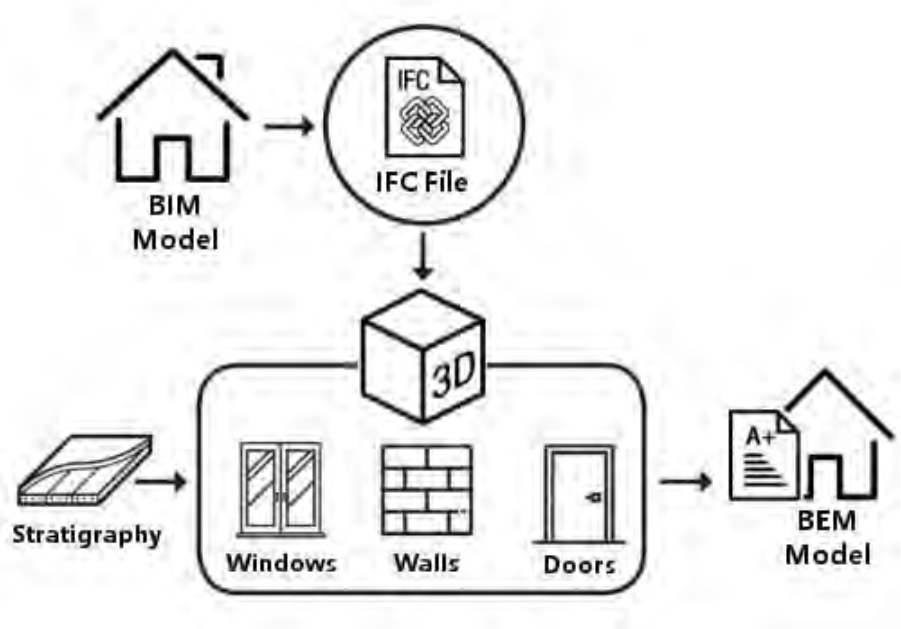


Figure 10.2: Phase importation IFC – BIM – BEM

Source : biblus.accasoftware.com

10.5.1. Définition du BEM

Selon l'Office américain de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables[10], BEM est une simulation logicielle basée sur la consommation d'énergie des bâtiments. Un programme BEM prend comme entrée une description d'un bâtiment, y compris la géométrie, les matériaux de construction et l'éclairage, le CVAC (chauffage, ventilation et air conditionné), la réfrigération, les configurations des systèmes de production d'énergie renouvelable, l'efficacité des composants et les stratégies de contrôle. Il prend également des descriptions de l'utilisation et du fonctionnement du bâtiment, y compris les horaires d'occupation, l'éclairage, les prises de charge et les réglages du thermostat.

Un programme BEM combine ces entrées avec des informations sur la météo locale et utilise des équations physiques pour calculer les charges thermiques, la réponse du système à ces charges et la consommation d'énergie qui en résulte, ainsi que des paramètres connexes tels que le confort des occupants et les coûts énergétiques. Les programmes BEM effectuent une année complète de calculs sur une base horaire ou plus courte. Ils tiennent également compte des interactions du système comme celles entre l'éclairage et le chauffage/climatisation.

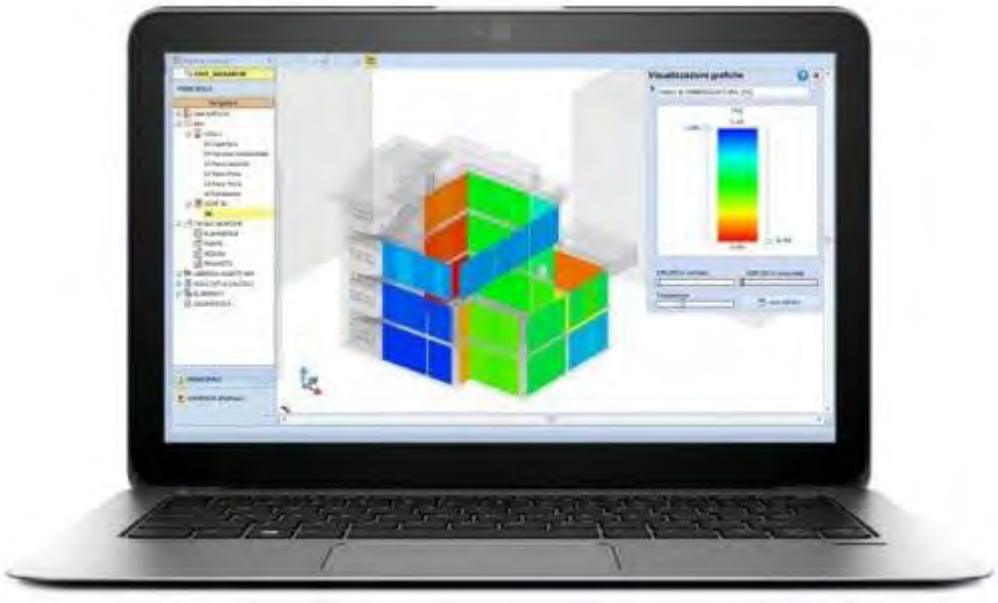


Figure 10.3: Logiciel BEM / Modèle énergétique d'un bâtiment

Source : biblus.accasoftware.com

[10] Cette section est développée en se basant sur le site de l'office américain de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables : https://www.energy.gov/eere/buildings/about-building-energy-modeling

10.5.2. Usage du BEM

Les applications BEM tirent parti de leurs capacités à répondre à des questions auxquelles il est difficile de répondre par d'autres moyens. Les principaux cas d'utilisation sont les suivants :

- Conception architecturale :

  Les architectes utilisent BEM pour concevoir des bâtiments économes en énergie, en particulier pour maitre en avant les compromis quantitatifs entre les coûts de construction initiaux et les coûts énergétiques opérationnels. Dans de nombreux cas, BEM peut réduire à la fois les coûts énergétiques et les coûts de construction initiaux.

- Conception et fonctionnement du CVAC :

  Les systèmes de CVAC des bâtiments commerciaux peuvent être volumineux et complexes. BEM aide les ingénieurs en mécanique à concevoir des systèmes CVAC qui répondent efficacement aux charges thermiques des bâtiments. Il aide également à concevoir et à tester des stratégies de contrôle pour ces systèmes.

- Évaluation de la performance du bâtiment :

  La BEM permet d'analyser les performances intrinsèques d'un bâtiment tout en tenant compte de son usage et de son mode de fonctionnement spécifiques. Cette évaluation des performances intrinsèques constitue le fondement de démarches comme la conformité aux codes, la certification environnementale et l'obtention d'incitations financières.

- Analyse du parc immobilier :

  L'analyse BEM sur des modèles prototypes soutient le développement de codes et de normes énergétiques et aide des organisations telles que les services publics et les gouvernements locaux à planifier des programmes d'efficacité énergétique à grande échelle.

De nouveaux cas d'utilisation émergent à mesure que BEM devient plus puissant et plus facile à utiliser.

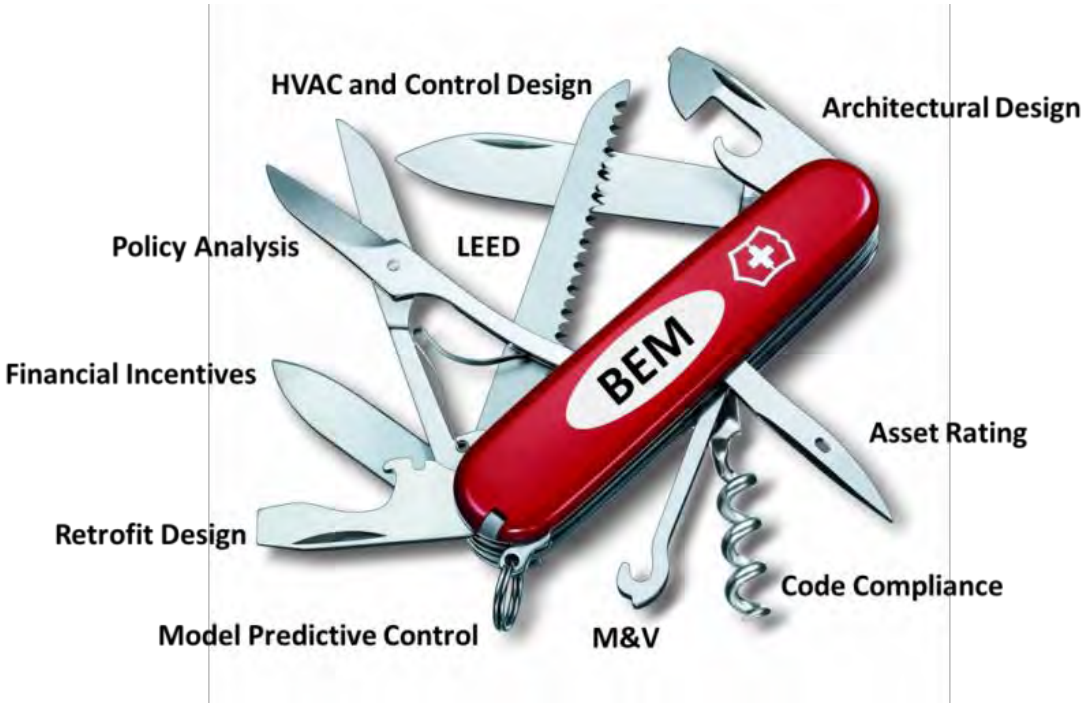


Figure 10.4: La modélisation énergétique des bâtiments (BEM) est un outil polyvalent pour l'efficacité énergétique des bâtiments

Source: energy.gov

10.5.3. Simulation énergétique

L'utilisation d'outils de simulation énergétique est le moyen le plus efficace de prendre des décisions concernant la conception durable dès les premières étapes du processus de conception (K.C.Ding, 2008). Selon Franconi et al. (2013), les modélisateurs peuvent utiliser des outils de simulation de l'ensemble du bâtiment (*whole-building simulation tools*) à différents niveaux. Ils peuvent faire varier le niveau d'entrée en s'appuyant plus ou moins sur les conditions par défaut du logiciel. Ils peuvent également traduire plus ou moins d'informations sur le projet pour développer les valeurs d'entrée du modèle.

Franconi et al. (2013) ajoute que les modélisateurs peuvent également utiliser des outils spécialisés pour appuyer davantage le processus et/ou ajouter de l'information supplémentaire à la simulation de l'ensemble du bâtiment. En général, l'objectif est de garder le modèle aussi simple (et abordable) que possible tout en conservant une précision suffisante pour atteindre les objectifs du projet. Le propriétaire doit être au courant de ces pratiques afin de mieux comprendre les propositions de travaux qui incluent la modélisation.

Dans le domaine de la recherche et de l'industrie, diverses approches permettent de modéliser les phénomènes physiques observés dans le secteur du bâtiment. Ces méthodes se répartissent généralement en trois catégories :

- Modèles "boîte blanche" : Ils s'appuient sur une compréhension détaillée des phénomènes physiques pour effectuer des estimations à un moment et un lieu précis. Cela inclut les logiciels de Simulation Thermique Dynamique (STD), comme TRNSYS ou EnergyPlus.
- Modèles "boîte noire" : Ces modèles reposent sur des techniques mathématiques et statistiques telles que le Machine Learning ou les chaînes de Markov, sans nécessiter une connaissance approfondie des phénomènes sous-jacents.
- Modèles "boîte grise" : Une combinaison des deux approches précédentes, ces modèles requièrent moins de données d'apprentissage et une compréhension partielle des phénomènes physiques.

Les logiciels de STD demandent une connaissance approfondie des caractéristiques du bâtiment, de ses systèmes CVC (Chauffage, Ventilation, et Climatisation) et de ses occupants. Ces outils incluent généralement des modules de modélisation pour ces trois aspects, mais leur précision dépend fortement des détails fournis. Pour des analyses très précises, ils peuvent devenir gourmands en temps de calcul et en ressources informatiques.

Bien que la plupart des logiciels de STD proposent des outils pour modéliser la géométrie des bâtiments, leur précision reste inférieure à celle des logiciels spécialisés en modélisation 3D, tels que Revit. Dans les cas complexes, les simulations peuvent nécessiter des durées de calcul importantes.

En règle générale, les outils de simulation pour le bâtiment comportent trois composantes principales : une interface utilisateur pour définir les entrées, un moteur de calcul et une interface pour présenter les résultats. Certains incluent aussi des fonctionnalités d'importation de géométrie 3D ou de génération automatique de documents de conformité.

Outre les analyses globales du bâtiment, les modélisateurs peuvent mener des études spécifiques, soit directement via le logiciel de simulation, soit en utilisant des outils externes, pour examiner des aspects précis à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment.

Une liste non exhaustive des outils de modélisation et de simulation énergétique couramment utilisés est répertoriée dans le tableau 10.2. Le tableau ne représente qu'un petit sous-ensemble puisqu'il en existe des centaines pour évaluer l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables et la durabilité dans les bâtiments[11].

Catégorie de l'outil	Objectif	Exemples de logiciels
Energie de l'ensemble du bâtiment	- Modélisation et simulation énergétiques de l'ensemble du bâtiment - Aide à la conception intégrée, conformité au code commercial, conformité LEED - Déductions fiscales fédérales pour les bâtiments commerciaux	EnergyPlus (DesignBuilder, AECOSim, Energy Simulator, Open Studio, Simergy), DOE-2.1E (VisualDOE), DOE-2.2 (eQUEST, Green Building Studio), IESVE, HAP, TRACE 700
Site/Solaire/Climat	- Données climatiques (température, humidité, solaire, vent) - Analyse climatique - Diagramme psychrométrique - Stratégies spécifiques au climat	Climate Consultant, ECOTECT
Conception passive	- Architecture solaire - Masse thermique - Ombrage - Ventilation naturelle - Calculs de charge	SUNREL, ECOTECT

[11] L'office américain de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables a une liste de plus de 400 outils logiciels de bâtiment.

Qualité de l'air intérieur	- Dynamique des fluides computationnelle (CFD), débit d'air - Qualité de l'air intérieur - Ventilation - Confort thermique	CONTAM, FLOVENT, ANSYS Courant
Systèmes d'enveloppe	- Transfert de chaleur 1-D/2-D/3-D - Produits thermiques - Verre, fenêtres, cadres, fenestration, migration de l'humidité	Optics, Window, Frame, Therm, WUFI
Eclairage et lumière du jour	- Utilisation de l'énergie lumineuse électrique - Simulations de la lumière du jour - Commandes actives de la lumière du jour - Placement des capteurs - Rendu	DAYSIM, AGI32, IES VE, SPOT, Radiance
Équipements et systèmes CVAC	- Calculs de charge - Modélisation des équipements et des commandes - Dimensionnement des équipements	HAP, TRACE 700, TRNSYS
Énergie renouvelable	Solaire thermique, solaire électrique, éolien	F-Chart, PV Watts, HOMER

Tableau 10.2: outils logiciels BEM couramment utilisés et leur objectif

Source : Franconi et al. (2013)

Quelques outils de simulation qui sont plus-ou-moins les plus utilisés pour surveiller la performance énergétique d'un bâtiment sont présentés ci-dessous.

10.5.3.1. Energy-10

Energy-10 est un outil convivial qui doit être utilisé dès les premières étapes de la conception afin d'éviter des modifications tardives de la construction (Crawley et al., 2008). Cet outil particulier peut identifier des mesures rentables en quelques minutes lorsque la structure comprend deux zones thermiques ou plus. Energy-10 est capable d'analyser à la fois l'éclairage naturel et les systèmes photovoltaïques. Le concepteur doit définir grossièrement le volume de la pièce, la mesure de l'ouverture, les propriétés des matériaux, les systèmes mécaniques et l'échéancier du projet. L'ensemble du processus ne prend que quelques minutes pour générer les résultats. Ainsi, le résultat apporte de la valeur au concepteur en fournissant un aperçu précoce de la performance énergétique du bâtiment, annuellement, mensuellement et même horairement. Energy-10 est mieux utilisé comme outil de conception préliminaire (Arayici, 2015).

10.5.3.2. eQuest

eQuest est un outil d'analyse d'énergie relativement simple à manipuler dans lequel le concepteur a la possibilité d'utiliser l'assistant interne ou d'importer le modèle dans l'application externe (Crawley et al., 2008). De nombreuses informations sont nécessaires de la part du concepteur afin d'obtenir des résultats optimaux. Les informations requises peuvent inclure les propriétés d'éclairage, les propriétés des matériaux, des horaires précis et des informations détaillées sur le système mécanique. Étant donné que le niveau d'entrée requis du concepteur est élevé, le niveau d'expertise requis pour utiliser cet outil est également élevé. Cet outil peut être utilisé à la fois pour l'analyse de conception préliminaire et pour un programme de modélisation détaillée. (Arayici, 2015)

10.5.3.3. Energy Plus

Energy Plus est un moteur de simulation complet qui modélise le chauffage, le refroidissement, l'éclairage et la ventilation. Cet outil est utilisé pour calculer des prévisions de température et de confort plus précises. Un haut niveau d'apport mécanique est requis de la part du concepteur. Un haut niveau d'expertise est avantageux car des détails précis peuvent avoir un impact significatif sur les résultats. Les concepteurs qui tentent d'utiliser ce programme auront

besoin d'une formation et d'une pratique considérables. Il est plus préférable d'utiliser cet outil dans les étapes finales de la conception où des détails précis sont requis. (Arayaci, 2015)

10.5.3.4. Green Building Studio (GBS)

Selon Arayici (2015), Green Building Studio est un programme complet d'analyse énergétique basé sur le Web. Il s'agit d'un outil d'analyse énergétique basé sur le cloud qui aide les concepteurs à réduire la consommation d'énergie d'un bâtiment, à effectuer une analyse globale du bâtiment et à améliorer la conception vers des bâtiments à bilan carbone neutre au début du développement de la conception. GBS relie le modèle architectural 3D à l'analyse énergétique via le format gbXML. Cette analyse énergétique particulière peut être effectuée à n'importe quelle étape de la conception. La seule exigence pour effectuer l'analyse est de télécharger le modèle architectural 3D sur le site Web de GBS.

Une fois le modèle 3D téléchargé, le moteur du site Web traite les données disponibles à partir du modèle et une position géographique prédéterminé est sélectionné en fonction du pays sélectionné. Une fois que le concepteur accepte les résultats GBS comme valides, ces résultats représenteront le bâtiment réel. Cet outil de simulation peut être utilisé à n'importe quelle étape de la conception jusqu'à ce que le modèle contienne une géométrie parfaite ; des résultats précis seront obtenus.

10.5.3.5. Ecotect

Ecotect est un outil d'analyse de conception d'énergie durable créé par Autodesk qui offre une large gamme de fonctionnalités d'analyse et de simulation énergétiques des bâtiments afin d'améliorer les performances des bâtiments nouveaux et existants (Arayici, 2015).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce polycopié a pour objectif d'offrir une introduction complète au Building Information Modeling (BIM) en couvrant ses principes fondamentaux, ses avantages et ses défis. À travers les dix chapitres qui structurent ce document, nous avons exploré les différents aspects du BIM, allant de ses bases théoriques à son application pratique dans un projet de construction.

L'un des points forts de ce travail réside dans son approche pédagogique, qui combine des concepts théoriques avec des exemples concrets et des illustrations facilitant la compréhension. L'accent mis sur des sujets clés tels que l'interopérabilité, la stratégie BIM, la coordination et la planification 4D permet aux apprenants de développer une vision globale du BIM et de mieux appréhender son impact sur l'industrie de la construction.

L'intégration du BIM dans la formation en architecture et en gestion de l'efficacité énergétique constitue une avancée significative en Algérie, répondant ainsi aux exigences croissantes du secteur en matière de numérisation et d'optimisation des processus. Ce document vise donc à équiper les étudiants et les professionnels des compétences nécessaires pour intégrer efficacement le BIM dans leurs pratiques futures.

Toutefois, plusieurs perspectives peuvent être envisagées pour approfondir ce travail. Il serait intéressant de compléter cette initiation au BIM par des études de cas réels et des projets appliqués permettant aux étudiants de mettre en pratique les connaissances acquises. De plus, l'intégration de modules avancés, notamment sur le BIM et l'intelligence artificielle, la simulation énergétique, pourrait constituer un axe d'amélioration pour les formations futures. Une autre perspective intéressante serait l'élaboration d'un polycopié dédié à l'application du processus BIM sur un projet de construction, permettant ainsi une mise en situation plus concrète des concepts abordés.

En conclusion, ce document constitue une première étape essentielle dans l'apprentissage du BIM. Il encourage une approche collaborative et innovante dans le domaine de la construction, tout en mettant en évidence la nécessité d'une formation continue pour suivre l'évolution rapide des technologies numériques dans ce secteur. L'avenir du BIM en Algérie dépendra de la volonté des acteurs du domaine à s'adapter à ces nouvelles exigences et à développer des compétences en phase avec les standards internationaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ACCA Software. (2021). Whitepaper: Fichier IFC

Ahn, K.-U., Kim, Y.-J., Park, C.-S., Kim, I., Lee, K. J. E., & Buildings. (2014). BIM interface for full vs. semi-automated building energy simulation. *68*, 671-678.

Arayici, Y. (2015). Building information modelling. In: Bookboon publisher.

Azhar, S., Carlton, W. A., Olsen, D., & Ahmad, I. J. A. i. c. (2011). Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis. *20*(2), 217-224.

Baldwin, M. (2019). *The BIM-manager: A practical guide for BIM project management*. Beuth Verlag GmbH.

Beard, J. L., Wundram, E. C., & Loulakis, M. C. (2001). *Design-build: Planning through development*: McGraw-Hill Education.

BIM/Maquette numérique – contenu et niveau de développement (2014), Cahier pratique le moniteur des travaux publics et du bâtiment, Le Moniteur n° 5763 – Cahier détaché n° 2 consultable sur www.lemoniteur.fr

Brewer, G., Gajendran, T., Le Goff, R. J. T. B., & Report, C. I. T. B. (2012). Building information modelling (BIM): an introduction and international perspectives.

BuildingSMART (2007). Quick Guide : Business Process Modeling Notation (BPMN)

BuildingSMART France- Médiaconstruct (2018). Guide : Comment rédiger une convention BIM ?

BuildingSMART France- Médiaconstruct (2018). Rapport d'analyse : Les systèmes de classification et le BIM

BuildingSMART France- Médiaconstruct (2020). Guide pratique : Des systèmes de classifications pour des projets en BIM

BuildingSMART France- Médiaconstruct (2020). Guide : Géoréférencement de projets BIM - Eléments méthodologiques : notions de base, cas d'usage et outils

Bynum, P., Issa, R. R., Olbina, S. J. J. o. c. e., & management. (2013). Building information modeling in support of sustainable design and construction. *139*(1), 24-34.

Charef, R., Alaka, H., & Emmitt, S. J. J. o. B. E. (2018). Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. *19*, 242-257.

CIC (Construction Project Information Committee). (2013). Post Contract-Award Building Information Modelling (BIM) Execution Plan (BEP).

Clevenger, C. M., & Carey, S. (2010). Industry-Academia Collaboration to develop a BIM-based MEPF Coordination Educational Module. Dans Proc., EcoBuild Proceedings of the BIM-Related Academic Workshop, Washington DC, Video material.

Cox, A., & Townsend, M. (1998). *Strategic procurement in construction: towards better practice in the management of construction supply chains*: Thomas Telford London.

Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., Griffith, B. T. J. B., & environment. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *43*(4), 661-673.

Ding, L., Zhou, Y., & Akinci, B. J. A. i. c. (2014). Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD. *46*, 82-93.

Eastman, C. J. A. J. (1975). The use of computers instead of drawings in building design. *63*(3), 46-50.

Eastman, C. M., Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*: John Wiley & Sons.

Eichler, C. C., Schranz, C., Krischmann, T., & Urban, H. (2023). BIMcert Handbook: Basic Knowledge openBIM. Edition 2023.

Engelbart, D. C. J. R. i. J. N. P. K. F. M. t. H. V. B., & Boston, t. m. s. m. (1962). Program on human effectiveness. 237-244.

Forgues.D, Boton.C, & Hittier.C. (2018). Guide de coordination 3D basée sur des maquettes BIM. GRIDD

Franconi, E., Tupper, K., Herrschaft, B., Schiller, C., & Hutchinson, R. J. R. M. I., Rocky Mountain Institute. (2013). Building Energy Modeling for Owners and Managers: A guide to specifying and securing services. 30.

Gaudin, B. (2013). Impacts of Building Information Modelling (BIM) on Project Management in the French Construction Industry August 2013.

Ghaffarian Hoseini, A., Zhang, T., Nwadigo, O., GhaffarianHoseini, A., Naismith, N., Tookey, J., . . . Reviews, S. E. (2017). Application of nD BIM Integrated Knowledge-based Building Management System (BIM-IKBMS) for inspecting post-construction energy efficiency. *72*, 935-949.

Hamieh. A. (2018), Planification automatique de chemins à l'intérieur de bâtiments basée sur un modèle BIM. Mécanique des structures, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis.

Jiang, X. (2011). Developments in cost estimating and scheduling in BIM technology.

K.C.Ding, G. (2008). Sustainable construction—The role of environmental assessment tools. *Journal of environmental management, 86*(3), 451-464.

Kamardeen, I. (2010). *8D BIM modelling tool for accident prevention through design.* Paper presented at the 26th annual ARCOM conference.

Kats, G., Alevantis, L., Berman, A., Mills, E., & Perlman, J. J. A. r. t. C. s. s. b. t. f. (2003). The costs and financial benefits of green buildings. *134*.

Kibert, C. J. (2016). *Sustainable construction: green building design and delivery*: John Wiley & Sons.

Konchar, M., Sanvido, V. J. J. o. c. e., & management. (1998). Comparison of US project delivery systems. *124*(6), 435-444.

Koutamanis, A. J. A. i. C. (2020). Dimensionality in BIM: Why BIM cannot have more than four dimensions? *, 114*, 103153.

Krygiel, E., & Nies, B. (2008). *Green BIM: successful sustainable design with building information modeling*: John Wiley & Sons.

Lai, H., Deng, X., & Chang, T.-Y. P. J. J. o. C. i. C. E. (2019). BIM-based platform for collaborative building design and project management. *33*(3), 05019001.

Ling, F. Y. Y., & Kerh, S. H. J. A. S. R. (2004). Comparing the performance of design-build and design-bid-build building projects in Singapore. *47*(2), 163-175.

Mayouf, M., Gerges, M., Cox, S. J. J. o. E., Design, & Technology. (2019). 5D BIM: an investigation into the integration of quantity surveyors within the BIM process.

McLennan, J. F. (2004). *The philosophy of sustainable design: The future of architecture*: Ecotone publishing.

McGraw-Hill Construction (2010), Green BIM: How Building Information Modeling Is Contributing to Green Design and Construction, McGraw-Hill Construction, Bedford, MA.

Mesároš, P., Smetanková, J., & Mandičák, T. (2019). *The fifth dimension of BIM–implementation survey.* Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

Moakher, P. E., & Pimplikar, S. (2012). Building information modeling (BIM) and sustainability–using design technology in energy efficient modeling. *IOSR Journal of Mechanical Civil Engineering, 1*(2), 10-21.

Nagy, G., Celnik, O., & Lebègue, E. (2015). *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*: Editions Eyrolles.

NORBERG, A. (2012). *Implementing Building Information Modeling within the railway sector.*

Olawumi, T. O., Chan, D. W., & Wong, J. K. (2017). Evolution in the intellectual structure of BIM research: A bibliometric analysis. *Journal of Civil Engineering Management, 23*(8), 1060-1081.

Plusquellec, T., Lehoux, N., & Cimon, Y. (2017). *Design-build and design-bid-build in construction-A comparative review*.

Quirk, V. (2012). A Brief History of BIM. Retrieved from www.archdaily.com

Ratnasabapathy, S., Rameezdeen, R. J. S. o. s., & procurement, V. t. c. (2006). Design-bid-build vs design—build projects: Performance assessment of commercial projects in sri lanka. 474-481.

Riedo, P. (2012-2019). Objectif BIM. Retrieved from www.objectif-bim.com

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*: John Wiley & Sons.

Tehami, M., & Seddiki, M. (2023). Investigation toward the adoption of building information modelling in Algeria from architects' perspective. Journal of construction in developing countries, 28(2).

Thomassen, M. J. C. M., Master's Thesis. (2011). BIM & Collaboration in the AEC Industry.

Urbina Velasco, A. (2013). Assessment of 4D BIM applications for project management functions.