



Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la
Recherche Scientifique



Institut National Polytechnique

Félix HOUPHOUËT-BOIGNY



Cycle Technicien Supérieur

MÉMOIRE DE PROJET DE FIN D'ÉTUDES

THÈME :

**ÉLABORATION D'UNE MAQUETTE NUMÉRIQUE BIM
DES LOTS ARCHITECTURAUX ET DE PLOMBERIE :
CAS DES BÂTIMENTS C ET D DE L'INP-HB SUD**

Période de stage : du 07 Octobre 2024 au 07 Février 2025

Présenté par : OUATTARA KOUAME ALAN HABIB & N'GORAN ETHI EUDES

Élèves Techniciens Supérieurs de 3^{ème} Année

Filière : Génie Civil option Bâtiment et Urbanisme

Encadré par : M. Nanan Steve KOUAKOU

Chef de service innovation et transfert des compétences des Fablabs BIM

Année académique 2024/2025



SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	I
DÉDICACE	II
REMERCIEMENTS	III
AVANT-PROPOS.....	IV
LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES PLANS	VII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	VIII
RÉSUMÉ	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
PREMIÈRE PARTIE : VUE D'ENSEMBLE DU PROJET ET APPROCHE BIM.....	4
CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL	5
CHAPITRE 2 : INTRODUCTION AU BIM ET PRÉSENTATION DU PROJET	12
CHAPITRE 3 : ANALYSE DES DONNÉES ET ÉTUDE PRÉALABLE.....	24
DEUXIÈME PARTIE : ÉLABORATION ET INTÉGRATION DES ÉLÉMENTS ARCHITECTURAUX ET DE PLOMBERIE AU BIM	28
CHAPITRE 4 : CONCEPTION DES ÉLÉMENTS ARCHITECTURAUX	29
CHAPITRE 5 : MODÉLISATION DES RÉSEAUX DE PLOMBERIE	37
CHAPITRE 6 : INTÉGRATION A LA PLATEFORME BIM	42
TROISIÈME PARTIE : SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS	54
CHAPITRE 7 : ANALYSE CRITIQUE ET RÉSULTATS OBTENUS	55
CHAPITRE 8 : RECOMMANDATIONS POUR L'UTILISATION ET L'EXTENSION DU PROJET	83
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	87
BIBLIOGRAPHIE.....	i
WEBOGRAPHIE	ii
ANNEXES	iv
TABLE DES MATIÈRES.....	x



DÉDICACE

*À nos très chers parents respectifs,
merci à vous de faire partie de nos vies.*



REMERCIEMENTS

Ce travail a été soutenu par l'Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny (INP-HB), à qui nous sommes très reconnaissants de nous avoir accordé ce stage et d'avoir mis à notre disposition des conditions optimales pour la réalisation de nos travaux.

Nous tenons particulièrement à remercier **Monsieur LOUM Georges**, Directeur Général Adjoint de l'INP-HB ; **Monsieur KONAN Dénis**, Directeur de l'ESTP ; **Monsieur GNAN-Kouassi**, Sous-Directeur des enseignements ; **Monsieur KOUABENAN**, Sous-Directeur chargé des études ; ainsi que **Monsieur KOUAME Benjamin**, Inspecteur de filière, pour leur précieuse contribution à la réussite de ce projet.

Nous exprimons également notre profonde gratitude à **Monsieur KOUAKOU Nanan Steve**, Architecte-Urbaniste et maître de stage. Nous lui sommes très reconnaissants pour ses conseils éclairés, sa grande disponibilité ainsi que l'attention qu'il a portée à notre travail tout au long de notre stage.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements à **Monsieur FOFANA**, Chef de service hébergement de l'INP-HB Sud, ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide et leur soutien tout au long de cette expérience.

Enfin, nous témoignons notre reconnaissance à nos parents, nos amis et nos condisciples pour leurs conseils, leurs encouragements et leur soutien indéfectible.

AVANT-PROPOS

L'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INPHB) a été créé le 04 septembre 1996 par le décret N°96-678 à la suite de la fusion et à la restructuration de quatre (04) grandes écoles publiques nationales, à savoir l'Institut Agricole de Bouaké (IAB), l'École Nationale Supérieure d'Agronomie (ENSA), l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP) et l'Institut National Supérieur de l'Enseignement Technique (INSET). L'Institut compte aujourd'hui onze (11) grandes écoles qui sont :

- Ecole Doctorale Polytechnique des Sciences Agronomiques et Procédés de Transformation (EDPSAPT) ;
- Ecole Doctorale Polytechnique des Sciences et Techniques de l'Ingénieur (EDPSTI) ;
- Ecole Préparatoire aux Grandes Ecoles (EPGE) ;
- Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA) ;
- Ecole Supérieure de l'Aéronautique et du Spatial (ESAS) ;
- Ecole Supérieure de Commerce et d'Administration des Entreprises (ESCAE) ;
- Ecole Supérieure de Chimie, Pétrole et de l'Energie (ESCPE) ;
- Ecole des Formations Spécialisées et de Perfectionnement des Cadres (EFSPC) ;
- Ecole Supérieure d'Industrie (ESI) ;
- Ecole Supérieure des Mines et Géologie (ESMG) ;
- Ecole Supérieure des Travaux Publics (ESTP).

L'ESTP est chargée de la formation des Techniciens Supérieurs spécialisés et des Ingénieurs dans le domaine du génie civil ou de toute autre spécialité connexe. Elle comprend quatre (4) filières, à savoir : Bâtiment et Urbanisme, Route et Transport, Hydraulique et Environnement, Géomètre.

La formation des techniciens supérieurs se conclut par la réalisation d'un Projet de Fin d'Études (PFE). Dans ce cadre, en tant qu'élèves de troisième année en filière Bâtiment et Urbanisme du cycle technicien supérieur, nous avons effectué un stage de dix-sept (17) semaines et quatre (4) jours au sein de la salle BIM de l'ESTP. Ce mémoire retrace l'ensemble des travaux réalisés ainsi que les actions entreprises tout au long de cette période.

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Situation géographique de l'INP-HB.....	6
Figure 2: Organigramme de l'INP-HB.....	7
Figure 3: Campus sud de l'INP-HB	8
Figure 4: Salle BIM	9
Figure 5: Documentation technique de salle BIM.....	10
Figure 6: Plan de coordination technique du niveau+2 du bâtiment D	11
Figure 7: Maquette numérique	13
Figure 8: Les dimensions du BIM	15
Figure 9: Niveaux de maturité des pratiques de modélisation collaborative.....	16
Figure 10: Définition des LOD.....	17
Figure 11: Taux d'utilisation du BIM en Côte d'Ivoire.....	18
Figure 12: Nouveau siège d'Orange à Abidjan	19
Figure 13: Localisation des bâtiments C et D au sein du campus sud de l'INP-HB.....	20
Figure 14: Les étapes principales du projet	21
Figure 15: Synthèse des étapes du projet.....	22
Figure 16: Famille de portes pour les salles de classe	34
Figure 17: Création de texture personnalisée	35
Figure 18: Modèle générique d'une passerelle	36
Figure 19: L'intérieur d'une gaine technique et d'un faux plafond	38
Figure 20: Vérification des interférences	44
Figure 21: Détection d'un conflit à corriger.....	45
Figure 22: Détermination des coordonnées géographiques des bâtiments C & D	46
Figure 23: Géoréférencement des bâtiments C & D.....	47
Figure 24: Création de l'espace projet	48
Figure 25: l'interface de l'aperçu du projet	49
Figure 26: Géo-localisation du projet	49
Figure 27: Ajout d'un utilisateur dans la plateforme	50
Figure 28: Gestion électronique des documents sur BIMData.....	51
Figure 29: BCF montrant un conflit entre un mur et une canalisation	51
Figure 30: Demande de validation de VISA	52
Figure 31: Fiche technique d'une porte.....	52



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les avantages et défis du BIM	17
Tableau 2: Les acteurs du projet et leurs rôles	21
Tableau 3: Programme des activités	23
Tableau 4: Les coordonnées géographiques des bâtiments C & D	48
Tableau 5: Les avantages du BIM dans ce projet	55



LISTE DES PLANS

Plan 1 : Plan de cotation du sous-sol du bâtiment D	61
Plan 2 : Plan de cotation du niveau 0 du bâtiment D.....	62
Plan 3 : Plan de cotation du niveau 1 du bâtiment D.....	63
Plan 4 : Plan de cotation du niveau 2 du bâtiment D.....	64
Plan 5 : Plan de cotation de la toiture du bâtiment D	65
Plan 6 : Façades Nord et Sud du bâtiment D	66
Plan 7 : Façades Est et Ouest du bâtiment D	67
Plan 8 : Coupes A-A ET B-B du bâtiment D	68
Plan 9 : Vues en perspective du bâtiment D	69
Plan 10 : Plan de cotation du sous-sol du bâtiment C	70
Plan 11 : Plan de cotation du niveau 0 du bâtiment C	71
Plan 12 : Plan de cotation du niveau 1 du bâtiment C	72
Plan 13 : Plan de cotation du niveau 2 du bâtiment C	73
Plan 14 : Plan de cotation de la toiture du bâtiment C	74
Plan 15 : Façades Est et Ouest du bâtiment C	75
Plan 16 : Façades Nord et Sud du bâtiment C	76
Plan 17 : Coupes A-A ET B-B du bâtiment C.....	77
Plan 18 : Vues en perspective du bâtiment C	78
Plan 19 : Plan de plomberie des toilettes communes du bâtiment C	79
Plan 20 : Documentation technique des portes et des fenêtres des bâtiments C et D	80
Plan 21: Rendus réalistes des bâtiments C et D.....	81

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

3D	:	Trois dimensions (modélisation tridimensionnelle)
4D	:	Quatre dimensions (gestion du planning)
5D	:	Cinq dimensions (gestion économique)
6D	:	Six dimensions (évaluation de la durabilité)
7D	:	Sept dimensions (gestion et maintenance simplifiée)
BIM	:	Building Information Modeling (modélisation des informations de la construction)
BIM Data	:	Plateforme de gestion de maquettes BIM
BTP	:	Bâtiment et Travaux Publics
CAO	:	Conception Assistée par Ordinateur
CSV	:	Comma-Separated Values (Valeurs Séparées par des Virgules)
CVC	:	Chauffage, Ventilation, Climatisation
DAO	:	Dessin Assisté par Ordinateur
DWG	:	Drawing (format de fichier AutoCAD)
EDP	:	Ecole Doctorale Polytechnique
EDPSAPT	:	Ecole Doctorale Polytechnique des Sciences Agronomiques et Procédés de Transformation
EDPSTI	:	Ecole Doctorale Polytechnique des Sciences et Techniques de l'Ingénieur
EFSPC	:	Ecole de Formation Spécialisée et de Perfectionnement des Cadres
ENSA	:	Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie
ENSTP	:	Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
EPGE	:	Ecole Préparatoire aux Grandes Écoles
EPSG	:	European Petroleum Survey Group (Groupe Européen de Levé Pétrolier)
ESA	:	Ecole Supérieure d'Agronomie
ESAS	:	Ecole Supérieure de l'Aéronautique et du Spatial
ESCAE	:	Ecole Supérieure de Commerce et d'Administration d'Entreprise
ESCPE	:	Ecole Supérieure de Chimie, Pétrole et de l'Energie
ESI	:	Ecole Supérieure d'Industrie
ESMG	:	Ecole Supérieure des Mines et Géologie
GIS	:	Geographic Information System (Système d'Information Géographique)
IAB	:	Institut Agricole de Bouaké
IFC	:	Industry Foundation Classes (classes de fondation de l'industrie)
INP-HB	:	Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny
INSET	:	Institut National Supérieur de l'Enseignement Technique



ISO	:	International Organization for Standardization (organisation internationale de normalisation)
LOD	:	Level of Development (niveau de développement)
MEP	:	Mechanical, Electrical, and Plumbing (Mécanique, Électricité et Plomberie)
PBR	:	Physically Based Rendering (Rendu basé sur la physique)
PFE	:	Projet de Fin d'Études
PVC	:	Polychlorure de vinyle
SCR	:	Système de Coordonnées de Référence
SIG	:	Système d'Information Géographique
UTM	:	Universal Transverse Mercator (Système de projection cartographique)
WGS 84	:	World Geodetic System 1984 (Système Géodésique Mondial 1984)



RÉSUMÉ

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous avons réalisé un stage au sein de la salle BIM de l'ESTP, du 07 octobre 2024 au 07 février 2025. Ce stage avait pour but d'appliquer la méthodologie et les outils BIM dans le projet de modélisation des bâtiments C et D du campus sud de l'INP-HB.

Notre mission principale consistait à **créer une maquette numérique BIM des lots architecturaux et de plomberie**. Pour cela, nous avons modélisé une maquette architecturale intégrant les systèmes de plomberie et centralisant toutes les informations disponibles. Cette approche impliquait également la détection des conflits entre les différents lots ainsi que la production de livrables tels que des plans, des sections, des rendus réalistes et des fichiers CAO/DAO

En complément de la création de la maquette numérique, nous avons formulé des recommandations pour assurer l'évolution et la durabilité du projet. Celles-ci incluent la mise à jour continue de la maquette, la numérisation progressive des bâtiments environnants et l'adoption du scanner 3D, une technologie plus avancée qui pourrait à terme conduire au développement d'un jumeau numérique complet.

Mots clés* : Maquette numérique BIM, lots architecturaux et de plomberie, INP-HB.



ABSTRACT

As part of our final year project, we completed an internship at the BIM room of the ESTP from October 7, 2024, to February 7, 2025. The objective of this internship was to apply BIM methodology and tools to the modeling project of buildings C and D of the INPHB South Campus.

Our main mission was **to create a BIM digital model of the architectural and plumbing systems**. To achieve this, we developed an architectural model integrating the plumbing systems while centralizing all available information. This approach also involved detecting conflicts between different trades and producing deliverables such as plans, sections, realistic renderings, and CAD files.

In addition to creating the digital model, we formulated recommendations to ensure the project's evolution and sustainability. These include the continuous updating of the model, the gradual digitization of surrounding buildings, and the adoption of 3D scanning technology, a more advanced approach that could ultimately lead to the development of a complete digital twin.

Keywords: BIM digital model, architectural and plumbing systems, INPHB.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

❖ CONTEXTE GÉNÉRAL ET JUSTIFICATION

Dans le contexte actuel de modernisation des processus de construction et de gestion, le BIM (Building Information Modeling) se présente comme une solution innovante. En effet, dans son ouvrage intitulé *"Manuel du BIM : Un guide de la modélisation des informations du bâtiment pour les maîtres d'ouvrage, gestionnaires, concepteurs, ingénieurs et entrepreneurs"* publié en 2008 puis mis à jour en 2018, **Charles M. Eastman**, pionnier du BIM, souligne que « **cette technologie révolutionne la conception et la gestion des bâtiments en intégrant des modèles numériques détaillés, améliorant ainsi la collaboration entre les différents acteurs du projet** ».

C'est dans cette perspective que l'INP-HB a initié un projet visant à intégrer le BIM pour la gestion de ses infrastructures, en particulier les bâtiments C et D du campus sud. Ce projet, dont nous avons eu la charge dans le cadre de notre mémoire de fin d'études, porte sur l'élaboration d'une maquette numérique BIM.

Le thème de notre étude est donc intitulé : « **ÉLABORATION D'UNE MAQUETTE NUMÉRIQUE BIM DES LOTS ARCHITECTURAUX ET DE PLOMBERIE : CAS DES BÂTIMENTS C ET D DE L'INP-HB SUD** ».

❖ FORMULATION DE LA PROBLÉMATIQUE

Les bâtiments C et D disposent de données architecturales et techniques dispersées dans divers formats et stockées à différents endroits, sans plateforme unifiée pour les centraliser. Cette fragmentation complique la gestion et la maintenance à long terme de ces bâtiments, rendant difficile l'accès aux informations nécessaires pour les interventions techniques et la prise de décision. Face à cette situation, plusieurs questions se posent :

- Comment exploiter les données disponibles pour produire une maquette numérique fonctionnelle et exploitable ?
- Comment organiser et centraliser les informations architecturales et techniques des bâtiments pour faciliter la gestion future des bâtiments ?
- Comment documenter le processus afin de constituer une référence pour les projets similaires à venir ?

❖ OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

- Objectif général

L'objectif général au cœur de ce projet est de mettre en place une maquette numérique BIM des bâtiments administratifs C et D du campus sud de l'INP-HB pour améliorer leur gestion et leur exploitation.

- Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de ce projet sont de :

- modéliser une maquette numérique BIM des lots architecturaux et de plomberie ;
- centraliser et structurer les données disponibles relatives aux lots architecturaux et de plomberie dans un environnement BIM afin d'optimiser la gestion des informations ;
- faire le géoréférencement des bâtiments C et D ;
- formuler des recommandations pour encourager l'utilisation du BIM dans la gestion, la présentation et la maintenance des bâtiments de l'INP-HB ;
- produire des livrables (plans, coupes, rendus réalistes, documentations techniques et fichiers CAO/DAO).

❖ HYPOTHÈSES

Pour répondre aux défis de gestion des informations et de création d'une maquette numérique fonctionnelle, plusieurs hypothèses techniques peuvent être proposées :

- l'utilisation d'outils de modélisation BIM, comme Autodesk Revit, faciliterait la création d'une maquette numérique cohérente et fonctionnelle à partir des plans 2D et des relevés sur site ;
- la mise en place d'un environnement de données commun (CDE) basé sur une plateforme BIM collaborative (comme BIMData) permettrait de centraliser les informations des différents lots techniques ;
- la méthodologie développée dans ce projet serait reproductible pour d'autres bâtiments du campus ou d'autres institutions.

❖ MÉTHODOLOGIE ET PLAN DE TRAVAIL

- Méthodologie de travail

Pour mener à bien ce projet, nous avons adopté une démarche structurée comprenant :

- des recherches documentaires pour comprendre les principes fondamentaux du BIM ;
- la collecte des plans d'origine disponibles des bâtiments C et D
- des relevés sur site pour collecter les données techniques nécessaires ;
- l'utilisation d'outils BIM (comme Revit) pour la modélisation et l'analyse.
- l'utilisation de logiciels (comme Google Earth Pro et Qgis 3.40) pour le géoréférencement des bâtiments.

- Plan de travail

Notre étude s'articulera autour de trois parties principales :

PREMIÈRE PARTIE : VUE D'ENSEMBLE DU PROJET ET APPROCHE BIM

- CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL
- CHAPITRE 2 : INTRODUCTION AU BIM ET PRÉSENTATION DU PROJET
- CHAPITRE 3 : ANALYSE DES DONNÉES ET ÉTUDE PRÉALABLE

DEUXIÈME PARTIE : ÉLABORATION ET INTÉGRATION DES ÉLÉMENTS ARCHITECTURAUX ET DE PLOMBERIE AU BIM

- CHAPITRE 4 : CONCEPTION DES ÉLÉMENTS ARCHITECTURAUX
- CHAPITRE 5 : MODÉLISATION DES RÉSEAUX DE PLOMBERIE
- CHAPITRE 6 : INTÉGRATION À LA PLATEFORME BIM

TROISIÈME PARTIE : SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS

- CHAPITRE 7 : RÉSULTATS ET ANALYSE CRITIQUE
- CHAPITRE 8 : RECOMMANDATIONS POUR L'UTILISATION ET L'EXTENSION DU PROJET



**PREMIÈRE PARTIE : VUE
D'ENSEMBLE DU PROJET ET
APPROCHE BIM**

CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

INTRODUCTION

Selon le site officiel de l'INP-HB, l'Institut aspire à devenir un véritable pôle d'innovation en Afrique. C'est dans cette vision qu'il a initié un projet ambitieux visant à poser les bases de l'intégration du BIM, une technologie en constante évolution qui redéfinit l'approche du génie civil. L'objectif est clair : former des techniciens supérieurs et des ingénieurs capables de relever les défis de demain. Notre projet de fin d'études, mené à l'École Supérieure des Travaux Publics (ESTP), s'inscrit pleinement dans cette démarche. Ce chapitre se consacrera à la présentation de l'INP-HB et de l'ESTP, en mettant en lumière leur rôle dans notre projet. La plupart des informations mentionnées sont disponibles sur le site officiel de l'INP-HB.

I- PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'INP-HB

I-1- Historique

L'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) est un établissement public administratif unique en Afrique de l'Ouest, placé sous la tutelle du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. Créé par le décret n° 96-678 du 4 septembre 1996, il résulte de la fusion de l'École Nationale Supérieure d'Agronomie (ENSA), de l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP), de l'Institut Agricole de Bouaké (IAB) et de l'Institut National Supérieur de l'Enseignement Technique (INSET), communément appelées les « Ex Grandes Écoles de Yamoussoukro ».

I-2- Situation géographique

L'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) est situé en Côte d'Ivoire. Plus précisément dans la ville de Yamoussoukro, la capitale politique et administrative du pays, située au centre de la Côte d'Ivoire dans la région des Lacs et distante d'environ 248 km de la ville d'Abidjan, capitale économique (source Wikipédia).

L'institut est implanté sur un vaste domaine universitaire, réparti en 3 campus et localisé aux coordonnées GPS suivantes : latitude 6°51'53" N et longitude 5°14'19" O (source : GPS-longitude-latitude.net). Il est facilement accessible par les routes nationales A3 et A6, l'autoroute du Nord et l'aéroport international de Yamoussoukro.

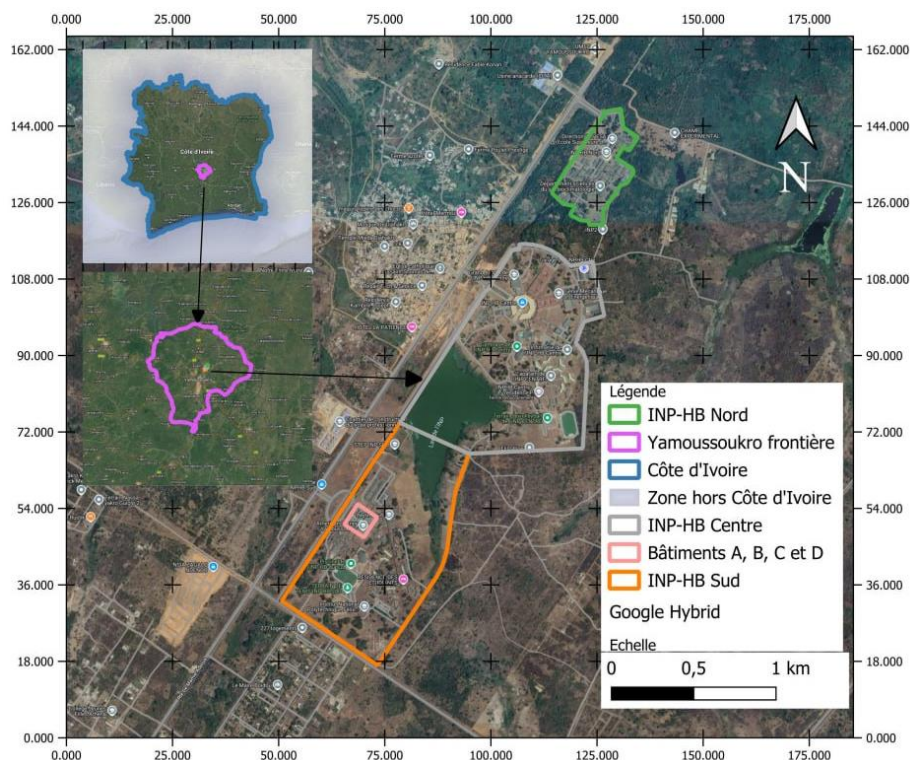


Figure 1: Situation géographique de l'INP-HB
Source : (Qgis,2025)

I-3- Missions de l'institut

Ces missions se résument en trois points :

- **Formation** — Proposer des programmes de formation initiale et continue, incluant des cursus diplômants et qualifiants (recyclage, perfectionnement), pour former des techniciens supérieurs, des ingénieurs des techniques et des ingénieurs de conception dans les domaines de l'industrie, du commerce, de l'administration, du génie civil, des mines et de la géologie.
- **Innovation** — Conduire des activités de recherche et développement.
- **Transformation** — Offrir des services d'expertise, de soutien et de production au bénéfice des entreprises et des administrations.

I-4- Organisation générale

L'INP-HB dispose d'une organisation structurée visant à assurer le bon déroulement de ses activités académiques, administratives et opérationnelles. En voici un aperçu :

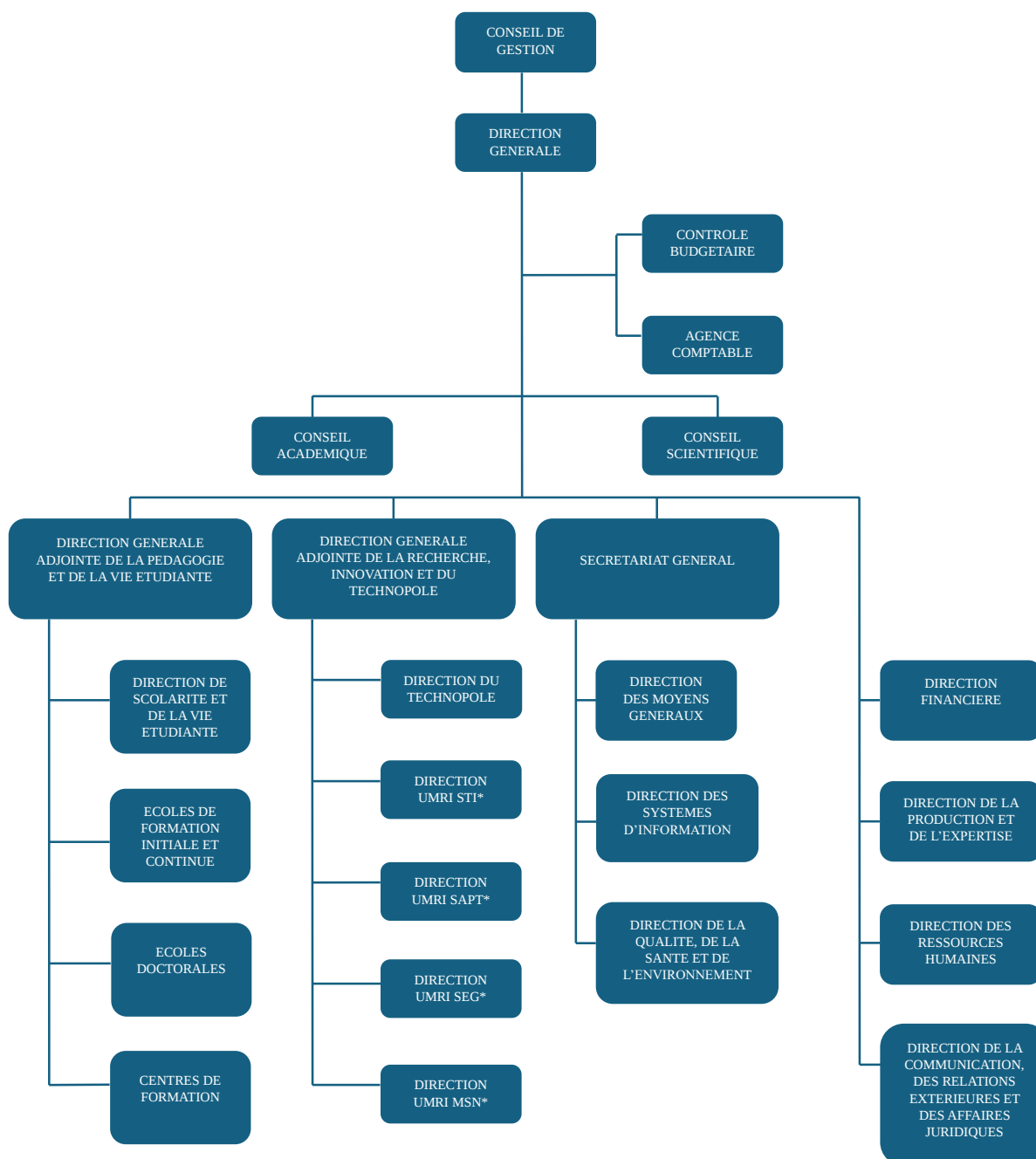


Figure 2: Organigramme de l'INPHB

Source : (INPHB.ci, 2025)

II- PRÉSENTATION DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DES TRAVAUX PUBLICS (ESTP)

II-1- Historique

L'École Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP) a été créée en 1963 et se trouvait à Abidjan avant d'être transférée à Yamoussoukro en 1979. En 1996, une réorganisation des grandes écoles de Yamoussoukro a conduit à la création de l'INP-HB, qui regroupe onze (11) écoles aujourd'hui, dont l'École Supérieure des Travaux Publics (ESTP), héritière de l'ancienne ENSTP.

II-2- Emplacement de l'ESTP au sein de l'INPHB

L'École Supérieure des Travaux Publics (ESTP) est située sur le campus Sud de l'INP-HB, plus précisément dans le bâtiment administratif D, comme l'indique l'image ci-dessous.



Figure 3: Campus sud de l'INP-HB
Source : (Wikipédia, 2024)

II-3- L'ESTP dans le cadre de notre projet de fin d'étude (PFE)

Dans le cadre de notre mémoire de fin d'études sur l'élaboration d'une maquette numérique BIM des lots architecturaux et de plomberie des bâtiments C et D de l'INP-HB, l'École Supérieure des Travaux Publics (ESTP) a joué un rôle clé à plusieurs niveaux en mettant à notre disposition un environnement propice pour concrétiser ce projet.

II-3-1- La salle BIM

Depuis 2019, l'INP-HB a initié une collaboration avec l'ESTP Paris pour développer les compétences en BIM (Building Information Modeling) au sein de son corps enseignant et de ses infrastructures. Installée au 1^{er} étage de l'ESTP dans la salle D228, elle a été conçue comme un espace de collaboration et d'apprentissage autour des outils numériques BIM.



Figure 4: Salle BIM

Source : (Salle BIM INP-HB Sud, 2024)

Grâce aux équipements et logiciels mis à disposition, nous avons été en mesure d'effectuer une numérisation précise des bâtiments, en intégrant les détails architecturaux et techniques nécessaires à l'élaboration de la maquette.

Notre mission était avant tout de donner vie à la salle BIM, en lançant un projet qui poserait les bases de son avenir. Plus qu'un simple espace de travail, nous voulions en faire un lieu de référence, où l'innovation et la collaboration prendraient forme. Ce projet marque ainsi le début d'une nouvelle ère pour la salle BIM, ouvrant la voie à de nombreuses avancées dans la formation et la numérisation des bâtiments. La salle BIM dispose des équipements illustrés dans la figure suivante :



Figure 5: Documentation technique de salle BIM
Source : (Salle BIM INP-HB Sud, 2024)

II-3-2- L'accès aux plans disponibles et aux salles des bâtiments

Même si de nombreux plans manquaient, l'administration de l'ESTP a mis tout en œuvre pour nous donner accès aux archives restantes des bâtiments administratifs C et D ainsi qu'à certains plans de récolement numérisés. De plus, elle nous a donné l'autorisation d'exploiter les salles, notamment pour prendre des mesures des dimensions et des photos des pièces. Cet effort a été un véritable atout pour notre projet, car il nous a permis de mieux comprendre la structure et les caractéristiques des bâtiments concernés, facilitant ainsi leur reproduction numérique.

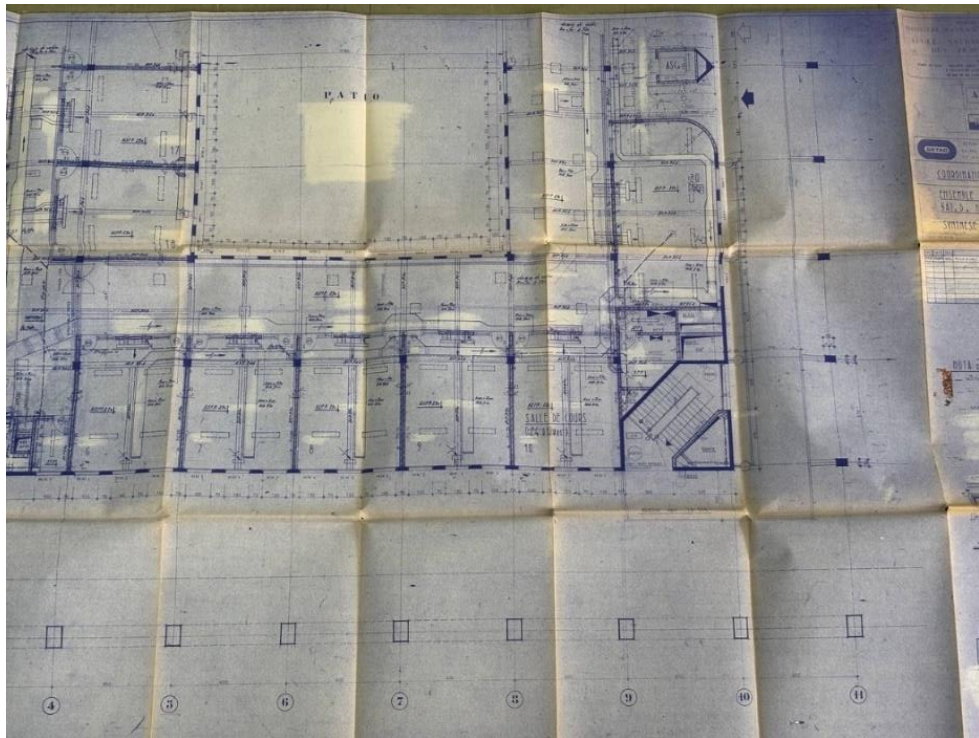


Figure 6: Plan de coordination technique du niveau+2 du bâtiment D
Source : (Moyens généraux INPH-HB Centre, 2024)

II-3-3- L'accompagnement d'un expert en BIM

L'ESTP a mis à notre disposition un expert BIM qui nous a guidés tout au long de ce projet. Grâce à son expertise et à ses conseils avisés, nous avons pu affiner notre méthodologie, anticiper les obstacles et adopter les meilleures pratiques de modélisation des maquettes numériques. Cet accompagnement a été un véritable atout, nous permettant de travailler de manière rigoureuse tout en enrichissant nos compétences BIM de façon concrète.

CONCLUSION PARTIELLE

Ce stage au sein de l'INP-HB, et plus précisément à l'ESTP, nous a offert une immersion précieuse dans une technologie en pleine expansion, tout en renforçant nos compétences en modélisation numérique. Bien au-delà d'une simple réalisation technique, ce travail constitue une étape vers une intégration plus approfondie du BIM dans notre formation. Le prochain chapitre sera consacré à la présentation du BIM ainsi qu'à l'approche adoptée pour mener à bien ce projet.

CHAPITRE 2 : INTRODUCTION AU BIM ET PRÉSENTATION DU PROJET

INTRODUCTION

La notion du BIM peut paraître abstraite au premier abord, il est donc essentiel d'en saisir les fondements pour en exploiter pleinement son potentiel. En effet, le BIM s'impose progressivement comme un outil incontournable, notamment pour la gestion optimisée des ouvrages construits. Le présent projet, qui vise à améliorer la qualité de gestion des infrastructures de l'INP-HB sur le long terme, a nécessité une approche méthodique claire et structurée. Dans la suite de ce chapitre, nous présenterons le BIM et le projet qui nous a été confié, ainsi que la démarche adoptée pour atteindre les objectifs fixés.

I- INTRODUCTION AU BIM

I-1- Définition du BIM et de la maquette numérique BIM

I-1-1- Définition du BIM

Le sens de l'acronyme BIM peut être interprété de différentes manières en raison de la diversité des enjeux qu'il couvre, rendant ainsi difficile l'adoption d'une définition unique. Dans le cadre de notre mémoire, nous retiendrons celle donnée par la norme ISO 19650-1 :2018, qui définit le BIM comme suit : « *Modélisation d'informations de la construction BIM (Building Information Modeling) : Utilisation d'une représentation numérique partagée d'un objet bâti pour faciliter les processus de conception, de construction et d'exploitation et former une base fiable permettant les prises de décision.* »

Autrement dit, à son stade le plus avancé, le BIM (Building Information Modeling) est une méthode de travail collaborative qui repose sur une maquette numérique 3D intelligente. Cette maquette centralise toutes les informations pertinentes d'un projet de construction, facilitant ainsi les échanges entre les différents intervenants (architectes, ingénieurs, entrepreneurs, propriétaires, gestionnaires d'infrastructures...), de la conception à l'exploitation du bâtiment et éventuellement à la rénovation.

I-1-2- Définition de la maquette numérique BIM

Dans sa thèse publiée en 2020 et intitulée "**Projet architectural et maquette numérique BIM : Enquête ethnographique au sein d'un grand projet de construction**", le Docteur **Emilien CRISTIA** nous fait savoir qu'une maquette numérique BIM est une représentation digitale d'un ouvrage qui va au-delà de sa simple géométrie. Contrairement aux modèles numériques classiques, elle intègre des métadonnées associées à chaque élément modélisé. Grâce à une modélisation orientée objet, chaque composant (murs, poutres, dalles, réseaux techniques, etc.) est défini non seulement par sa forme, mais aussi par ses caractéristiques techniques, fonctionnelles et contextuelles. Cette approche favorise l'interopérabilité entre différents logiciels grâce à des formats d'échange standardisés comme l'IFC (Industry Foundation Classes), facilitant ainsi la collaboration entre les acteurs d'un projet.

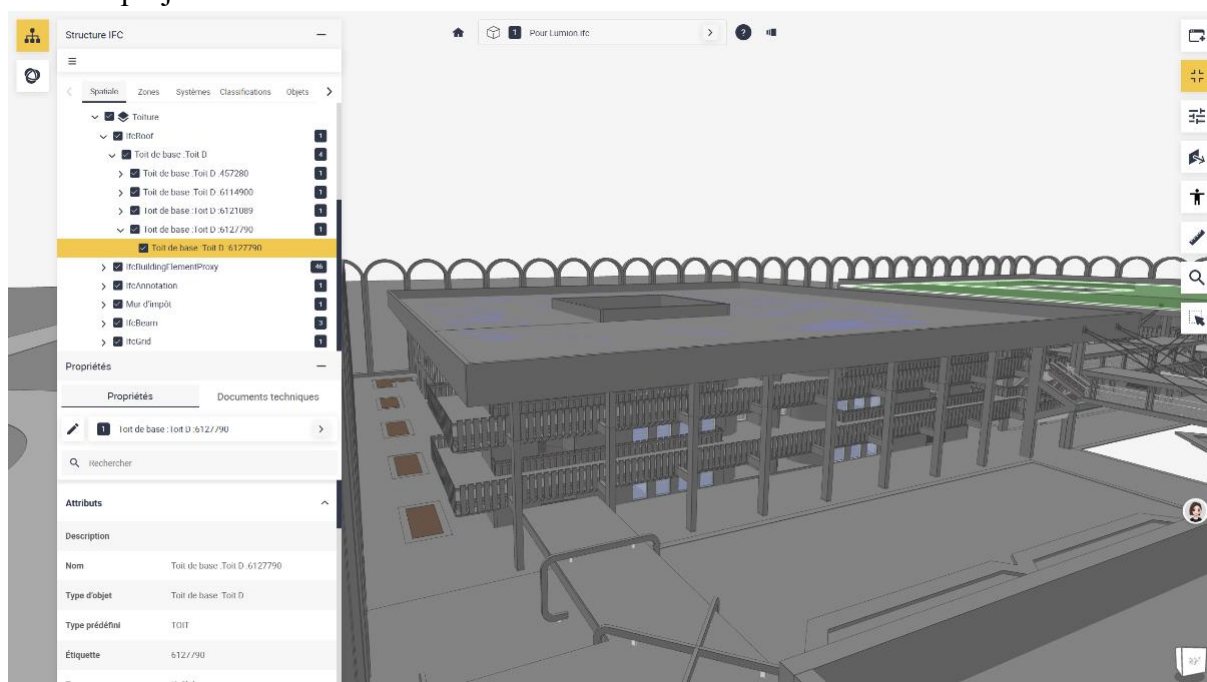


Figure 7: Maquette numérique
Source : (BIMData, 2025)

I-2- Les dimensions du BIM

Dans son mémoire de master publié en 2019 et intitulé « **L'interopérabilité entre la maquette numérique et les dimensions du processus BIM** », **CHELBAB NASSIMA RAHMOUNI AMINA** expose une analyse approfondie des différentes dimensions du BIM :

I-2-1- BIM 3D : La base géométrique

Le BIM repose avant tout sur ses trois dimensions fondamentales : X, Y et Z. Sans elles, il n'y aurait ni visualisation réaliste, ni détection d'interférences. Elles sont également essentielles pour le relevé de l'existant, le calcul des quantités et la mise à jour automatique des coupes et détails.

I-2-2- BIM 4D : L'intégration du facteur temps

Au-delà de la géométrie, le BIM 4D intègre la variable temps, permettant d'associer chaque élément du projet à son phasage dans le planning de construction. Cette approche offre aux acteurs du projet une vision dynamique de l'avancement des travaux et de la durée des différentes étapes.

I-2-3- BIM 5D : La maîtrise des coûts

Le BIM 5D introduit une dimension financière en liant les données géométriques et temporelles aux coûts de construction. Il permet ainsi d'estimer les dépenses, d'anticiper les variations budgétaires et de suivre l'évolution financière du projet en temps réel.

I-2-4- BIM 6D : L'optimisation durable

Le BIM 6D se concentre sur les performances énergétiques et environnementales du bâtiment. Il facilite l'analyse de l'empreinte carbone, l'optimisation des consommations et l'intégration de solutions écoresponsables dès la phase de conception.

I-2-5- BIM 7D : La gestion du cycle de vie

Avec le BIM 7D, la maquette numérique devient un outil central pour l'exploitation et la maintenance du bâtiment. Remis en fin de construction, ce modèle intègre toutes les données nécessaires pour assurer la gestion technique et opérationnelle sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment.

I-2-6- BIM XD : L'évolution sans limites

Le BIM XD symbolise l'évolution continue du concept BIM, où X représente toutes les dimensions futures pouvant enrichir l'approche numérique du bâtiment. Que ce soit l'intégration de nouvelles données, de capteurs intelligents ou d'analyses avancées, le BIM reste un outil évolutif, adaptable aux besoins émergents de l'industrie.



Figure 8: Les dimensions du BIM
Source : (TPdemain.com, 2025)

I-3- Les niveaux de maturité du BIM

L'adoption du BIM s'est faite progressivement, suivant plusieurs étapes de maturité. Dans leur article de recherche publié en 2014 et intitulé " **Maturité des pratiques BIM: Dimensions de modélisation, pratiques collaboratives et technologies** ", **Conrad Boton** et **Sylvain Kubicki**, deux chercheurs et experts dans le domaine du BIM et de la gestion de projets de construction présentent les niveaux de maturité BIM suivant :

I-3-1- Niveau de maturité 1 : la modélisation orientée-objet

Le niveau 1 du BIM marque une transition entre les méthodes traditionnelles de conception en 2D et l'utilisation de modèles numériques en 3D enrichis d'informations. Ces modèles facilitent la génération automatique de plans 2D, de coupes, de perspectives et de simulations. Cependant, l'échange de modèles entre les disciplines du projet reste basique. Il se fait au moyen d'exportation et d'importation de fichiers par e-mail, cloud (google drive) ou serveur, ce qui limite la collaboration entre les acteurs et l'interopérabilité entre les logiciels BIM provenant de différentes sociétés d'édition (Autodesk, Bentley systems, Nemetscheck group).

I-3-2- Niveau de maturité 2 : la collaboration orientée-modèle

Le niveau 2 de maturité du BIM représente un stade avancé de collaboration et de modélisation. En effet, la collaboration entre les disciplines se fait de manière structurée et organisée, notamment grâce aux plateformes collaboratives et aux formats d'échanges standardisés (IFC, fichier propriétaire). En plus de la 2D et de la 3D, le niveau de maturité 2 intègre directement au modèle la planification du chantier (4D) et la gestion des coûts (5D). Toutefois, les mises à jour ne sont pas synchronisées et les risques de pertes d'informations via les exportations en IFC restent une réalité.

I-3-3- Niveau de maturité 3 : l'intégration orientée-réseau

Le niveau 3 de maturité du BIM représente l'aboutissement du processus BIM, avec une collaboration totale et en temps réel entre tous les acteurs du projet. Ce modèle intègre toutes les dimensions du BIM (3D, 4D, 5D, 6D, 7D et XD). Contrairement aux niveaux précédents où chaque discipline pouvait avoir son propre modèle, ici, un seul modèle centralisé est partagé et enrichi par tous les intervenants (architectes, ingénieurs, gestionnaires, etc).

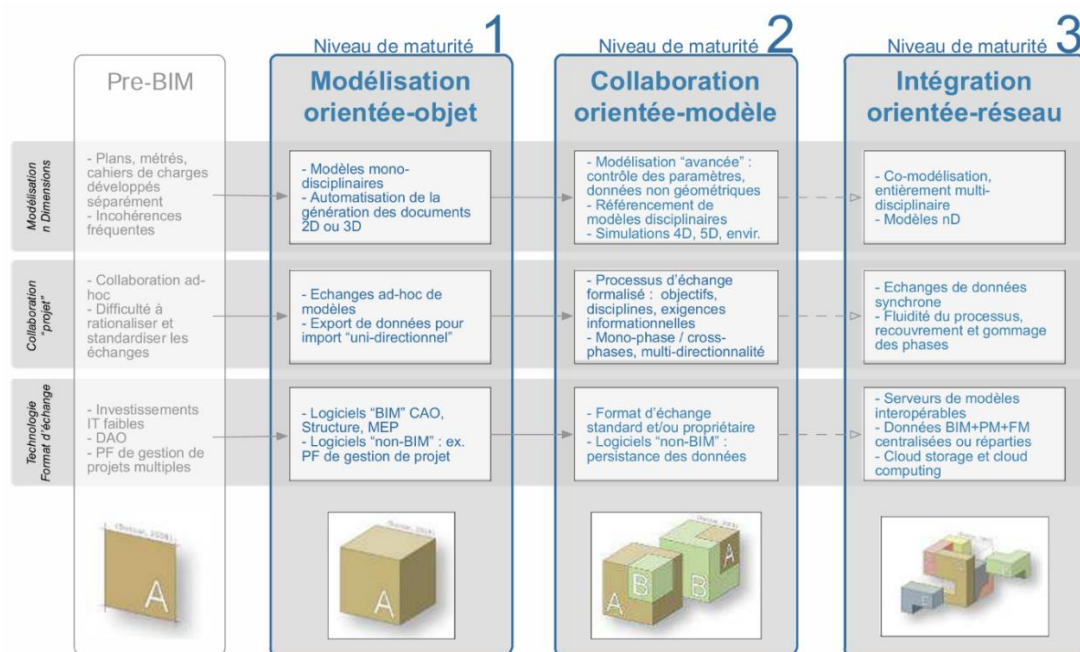


Figure 9: Niveaux de maturité des pratiques de modélisation collaborative
Source : (Kubicki, 2014)

I-4- Les niveaux de développement du BIM (LOD)

Les niveaux de développement (LOD) jouent un rôle clé dans l'évaluation de la précision et de la richesse des informations intégrées à un modèle BIM. Selon *l'American Institute of Architects (AIA, 2013)*, le LOD définit les « données minimales dimensionnelles, spatiales, quantitatives, qualitatives et autres contenus dans un élément de la maquette numérique pour répondre aux usages autorisés associés à ce niveau de développement ».

Le BIMForum (2017) établit une classification en six niveaux de développement, allant du LOD 100 (modèle conceptuel) au LOD 500 (modèle tel que construit). Chaque niveau correspond à une phase spécifique du projet, depuis les premières esquisses jusqu'à la documentation finale du bâtiment, garantissant ainsi une structuration progressive des informations en fonction des besoins de chaque étape.

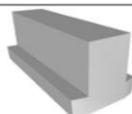
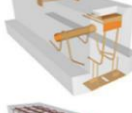
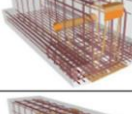
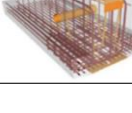
LOD 100 CONCEPT	L'élément du modèle n'est pas représenté géométriquement mais est défini par un symbole ou par une information associée à un autre élément du modèle.	
LOD 200 CONCEPTION SCHEMATIQUE	L'élément du modèle est une représentation géométrique générique et peut contenir des informations non-graphiques approximatives.	
LOD 300 CONCEPTION DÉTAILLÉE	L'élément du modèle est une représentation géométrique qui se caractérise par une forme, des dimensions, un emplacement et une orientation spécifiques. Des informations non-graphiques lui sont également attachées.	
LOD 350 CONSTRUCTION	L'élément du modèle est une représentation géométrique qui se caractérise par sa forme, ses dimensions, son emplacement, son orientation et ses relations spécifiques avec d'autres éléments de construction. Des informations non-graphiques lui sont également attachées.	
LOD 400 FABRICATION ET ASSEMBLAGE	L'élément du modèle est représenté de manière suffisamment détaillée et précise pour pouvoir être fabriqué.	
LOD 500 POST- CONSTRUCTION	L'élément du modèle est représenté tel qu'il a été construit. Des informations non-graphiques lui sont également attachées.	

Figure 10: Définition des LOD
Source : (Thèse de Assefsaf Amel Ines, 2024)

I-5- Avantages et défis BIM

Dans son mémoire publié en 2023 sous le titre " **MISE EN PLACE DU PROCESSUS BIM EN CÔTE D'IVOIRE : ETUDE DE CAS**", l'Ingénieur en Bâtiment et Urbanisme **Konan Gaston KOFFI**, met en lumière les avantages et les défis du BIM, que nous avons synthétisés dans les tableaux suivants :

Tableau 1: Les avantages et défis du BIM

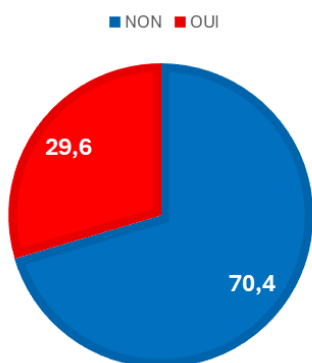
Avantages	Communication améliorée	Le processus BIM repose sur l'emploi d'un modèle numérique qui aspire à être la réplique virtuelle de la construction. La maquette numérique rend possible une communication claire et efficace.
	Gain de temps	Le BIM permet de générer automatiquement les plans, coupes et élévations à partir d'un même modèle accessible et ajustable par tous.
	Économie de coûts	Le BIM offre la possibilité de réduire les erreurs avant le commencement de la construction, ce qui permet d'éviter les surcoûts liés aux reprises pendant le processus de construction.
	Coordination Améliorée	Grâce à une plateforme collaborative qui offre la possibilité d'intégration et facilite tous les échanges, le BIM assure une coordination précise et une coopération au niveau des processus.
	Centralisation du travail	Le BIM facilite l'accès à l'information, car les informations sont diffusées à tous par un seul canal de diffusion.

Avantages	Augmentation de la productivité	Le BIM permet de créer un plan de projet précis de manière très concise et de coordonner l'avancement du projet.
	Optimisation des performances des édifices	Les Informations digitales facilitent l'exécution de traitements informatiques visant à optimiser les performances du bâtiment : énergie, acoustique, éclairage, structure, économie et maintenance sur le long terme.
Défis	Prix élevé	Les logiciels qualifiés de BIM sont coûteux et demandent une formation intensive. Les outils informatiques recommandés pour le processus ont un coût élevé. La plupart des entreprises de construction ne peuvent pas se les permettre.
	Exigences spécifiques	L'adoption du BIM implique un changement profond dans les méthodes de travail. En effet, elle exige des instruments particuliers, des agents dédiés et une structure organisationnelle spécifique.
	Baisse de la productivité initiale	La phase de formation et d'adaptation au sein d'une Entreprise entraîne une diminution de la productivité initiale.
	Manque de confiance	Certains professionnels habitués aux méthodes traditionnelles sont réticents à la transition vers le BIM d'autant plus qu'ils n'ont aucune garantie d'un retour sur investissement.
	Coopération anticipée	La gestion du processus traditionnel d'appel d'offres, de contrat commercial et de sélection du maître d'œuvre implique une coopération entre toutes les parties prenantes dès la conception, parfois même avant que le client ne leur confie le projet.

Source : (Notre étude inspirée de celle de KOFFI, 2023)

I-6- Le BIM en Côte d'Ivoire

UTILISATION DU BIM EN CÔTE D'IVOIRE



Utilisation du BIM	NON	OUI	Total
Nombre d'entreprises	102	43	145
Taux d'utilisation du BIM	70,4	29,6	100

Figure 11: Taux d'utilisation du BIM en Côte d'Ivoire

Source : (KOFFI, 2023)

Le sondage réalisé en 2023 par l'ingénieur **Konan Gaston KOFFI** dans son mémoire « **MISE EN PLACE DU PROCESSUS BIM EN CÔTE D'IVOIRE : ÉTUDE DE CAS** » met en évidence la faible adoption du BIM en Côte d'Ivoire. En effet, les échanges d'informations au sein des projets s'effectuent encore principalement via des systèmes de gestion classiques, tels que les courriels ou la transmission physique de dossiers par coursier. Cette méthode entraîne fréquemment des retards dans la réception des données et des informations. De plus, les synthèses sont toujours réalisées en 2D, ce qui complique la compréhension du projet et correspond au niveau de maturité 1 du BIM.

Afin de remédier à ces limitations, d'optimiser les coûts, de gérer la complexité du projet et de respecter les délais impartis, l'Entreprise Koffi & Diabaté a décidé d'adopter une approche BIM pour le projet de construction du siège d'Orange Côte d'Ivoire, situé à Abidjan. Cette approche leur a permis d'améliorer la communication du projet (grâce à la plateforme collaborative BIM360), d'obtenir une vision globale du projet et d'avoir un gain financier et de temps.



Figure 12: Nouveau siège d'Orange à Abidjan
Source : (Koffi et Diabaté Architectes, 2022)

Tout comme l'Entreprise Koffi & Diabaté, nous avons choisi d'adopter cette approche dans notre projet. Cependant, notre démarche s'est limitée au niveau de maturité 2. En effet, le niveau 3, qui repose sur un modèle unique synchronisé, exige l'utilisation d'une plateforme collaborative avancée coûteuse, à l'image de BIM360. Face à cette contrainte, nous avons recherché une alternative gratuite, bien que moins complète. La plateforme retenue sera présentée en détail dans le chapitre 6 de ce mémoire.

II- PRESENTATION DU PROJET

II-1- Contexte du projet

D'après les archives de l'INP-HB, les bâtiments administratifs C et D du campus sud ont été achevés en 1979. À l'époque, leur conception s'appuyait principalement sur des méthodes entièrement manuelles, car les logiciels CAO n'étaient pas encore démocratisés dans le secteur du bâtiment (les premiers logiciels Autodesk n'ayant vu le jour qu'en 1982 avec Autocad selon Wikipédia). Par conséquent, les plans d'origine des bâtiments C et D sont majoritairement en format papier, rendant leur exploitation difficile dans un monde où le numérique est désormais incontournable. Ces bâtiments, qui jouent un rôle clé dans l'administration du campus sud, doivent aujourd'hui répondre à des besoins croissants en gestion et en maintenance. Or, l'absence d'une maquette numérique détaillée et unifiée constitue une contrainte majeure, surtout dans un environnement académique en pleine transition vers le numérique. Face à cette problématique, le BIM apparaît comme la solution idéale, en offrant une représentation numérique complète des bâtiments, intégrant toutes les informations architecturales et techniques essentielles pour une gestion plus efficace et moderne.

II-2- Localisation du site

La figure ci-dessous montre l'emplacement des bâtiments C et D au sein du campus sud de l'INP-HB sur un plan de masse.

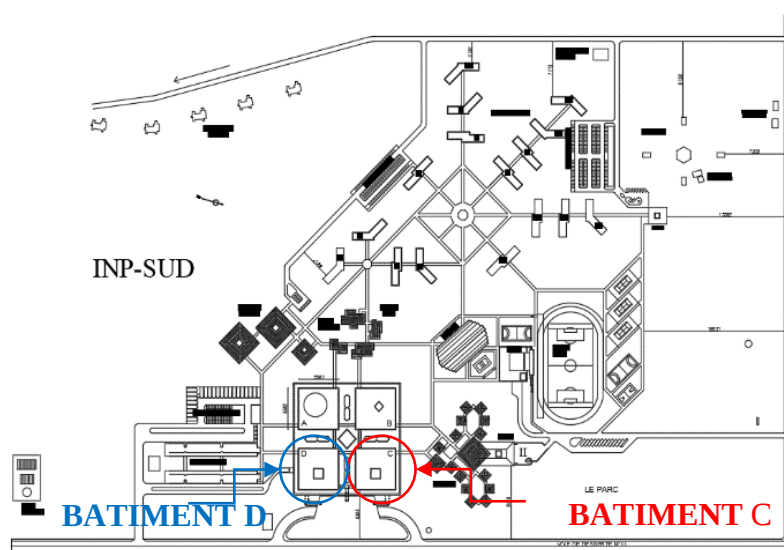


Figure 13: Localisation des bâtiments C et D au sein du campus sud de l'INP-HB

Source : (BNETD, 2024)

II-3- Étapes principales du projet

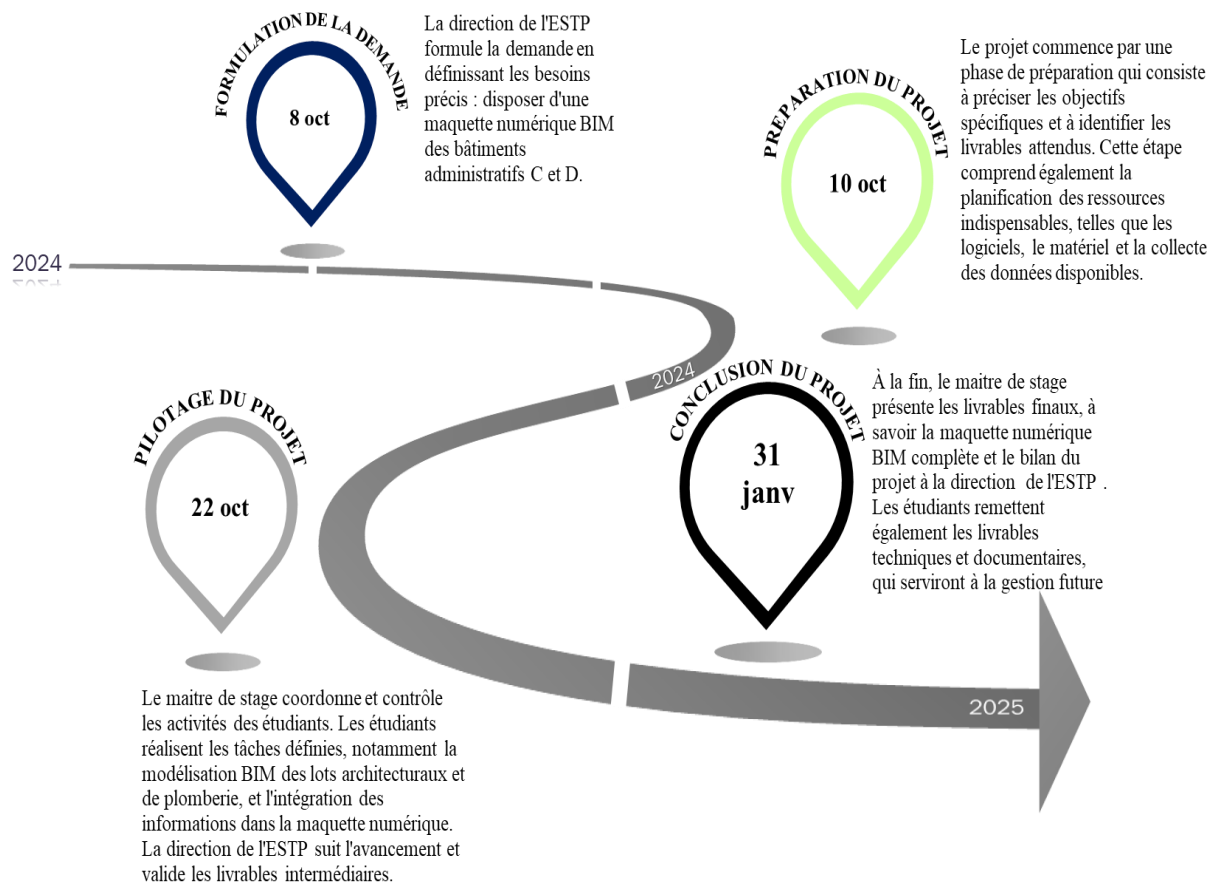


Figure 14: Les étapes principales du projet

Source : (Notre étude, 2024)

II-4- Acteurs et rôles

Ce projet mobilise une diversité d'acteurs, chacun jouant un rôle crucial.

Tableau 2: Les acteurs du projet et leurs rôles

ACTEURS		COMPOSITION	ROLES
Commanditaire	Décider	Administration de l'ESTP	L'administration de l'ESTP joue un rôle clé dans ce projet, en endossant le double statut de commanditaire et de soutien stratégique. En tant que commanditaire, elle s'assure que le projet répond aux enjeux de gestion des infrastructures, de maintenance et d'anticipation des rénovations. En parallèle, elle agit comme un pilier organisationnel, offrant un appui logistique essentiel et favorisant la collaboration entre les différents acteurs.
		-Directeur de l'ESTP: Professeur KONAN Denis -Sous directeur des enseignements de l'ESTP: M. GNAN-KOUASSI Roméo	

Maitrise en œuvre	Coordonner	Maitre de stage	Chef de service innovation et transfert des compétences des fablabs BIM: M. KOUAKOU Nanan Steve Yannick Yves Roger	Le maitre de stage joue un rôle clé en guidant les étudiants tout au long du processus. Par ses conseils méthodologiques et ses retours techniques, il garantit que le projet respecte les normes académiques et professionnelles. Il facilite l'accès aux informations techniques, assure leur cohérence et valide la qualité de la modélisation.
	Réaliser	Etudiants en charge du projet	Etudiants technicien supérieur TSBU 3: -OUATTARA Kouamé Alan Habib -N'GORAN Ethi Eudes	Au cœur du projet se trouvent les étudiants en bâtiment et urbanisme, qui sont les principaux exécutants. Ils portent la responsabilité de collecter les données, de modéliser les lots architecturaux et de plomberie et de produire une maquette numérique complète et fidèle.

Source : (Notre étude, 2024)

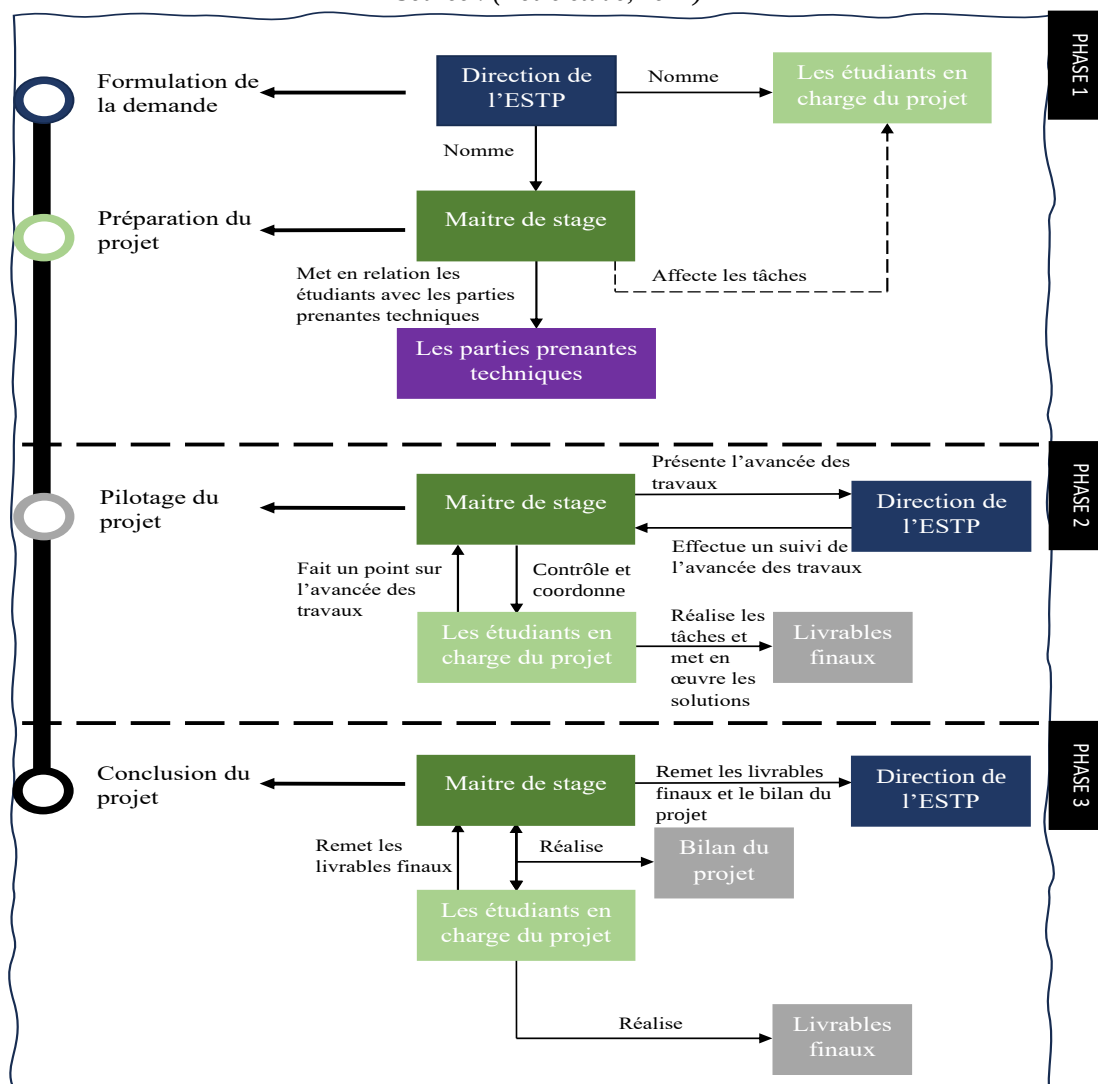


Figure 15: Synthèse des étapes du projet

Source : (Notre étude, 2024)

II-5- Calendrier des tâches

Tableau 3: Programme des activités

TÂCHE	DÉBUT	FIN
FORMULATION DE LA DEMANDE		
Réunion initiale avec l'administration pour définir les attentes et les objectifs.	8/10/24	8/10/24
PRÉPARATION DU PROJET		
Collecte de plans existants et numérisation des plans papiers	10/10/24	21/10/24
Étude des besoins et définition du niveau de détail (LOD)	11/10/24	13/10/24
Préparation des outils	14/10/24	15/10/24
Planification détaillée des étapes du projet	16/10/24	20/10/24
PILOTAGE DU PROJET		
Relevé des données sur site	22/10/24	5/1/25
Modélisation des lots architecturaux + Production de rendu réaliste	11/11/24	5/1/25
Modélisation des lots de plomberie	6/1/25	19/1/25
Finalisation des maquettes	20/1/25	26/1/25
Validation intermédiaire avec l'administration	27/1/25	29/1/25
Intégration des retours et modifications	29/1/25	31/1/25
CONCLUSION DU PROJET		
Compilation et vérification de la maquette finale	1/2/25	3/2/25
Rédaction du rapport final	4/2/25	5/2/25
Présentation finale à l'administration	6/2/25	6/2/25

Source : (Excel, 2025)

CONCLUSION PARTIELLE

À l'issue de ce chapitre, il convient de retenir que le BIM est une méthodologie de travail innovante qui, malgré ses nombreux atouts, se heurte encore à des défis qui freinent son adoption par les entreprises de construction aussi bien en Côte d'Ivoire qu'à l'échelle internationale. L'INP-HB qui ne veut pas rester en marge de cette évolution a initié un projet pour faciliter la gestion de ses ouvrages avec une méthodologie BIM. La mise en place de ce projet a nécessité une organisation rigoureuse et un travail méthodique. Dans la suite de notre étude, nous présenterons les méthodes employées pour la collecte et la vérification des informations ainsi que l'état des lieux des bâtiments.

CHAPITRE 3 : ANALYSE DES DONNÉES ET ÉTUDE PRÉALABLE

INTRODUCTION

Ce chapitre évoque les différentes méthodes employées pour collecter et vérifier les informations relatives aux bâtiments, essentielles à leur modélisation. Il détaillera d'une part les outils et les techniques utilisés pour assurer l'exactitude des données, en vue de répondre aux objectifs définis en début de projet, et d'autre part les problèmes identifiés sur les bâtiments qui nécessiteraient des rénovations.

I- PHASE PRÉPARATOIRE

I-1- Définition des objectifs

Afin de garantir une progression méthodique et d'orienter efficacement le projet, nous avons défini les objectifs suivants :

- faire un géoréférencement des bâtiments C et D ;
- traduire les plans existants et les données sur site en une maquette numérique fonctionnelle et exploitable en suivant le LOD 300 (niveau de développement) ;
- détecter et résoudre les conflits éventuels dans la maquette numérique ;
- intégrer la maquette numérique dans une plateforme BIM ;
- assurer une intégration durable et efficiente des données BIM pour la gestion future des bâtiments ;
- produire des livrables (rendus réalistes, documents techniques, vues en plan et en perspective, plans de coupes et de façades, fichiers Revit et QGIS...).

I-2- Ressources disponibles

Pour le bon déroulement de ce stage et des travaux à réaliser, nous avons à notre disposition :

- **la salle BIM de l'ESTP** équipée d'une connexion Internet illimitée et d'ordinateurs de haute performance ;
- **deux chambres sur le campus** permettant d'être au plus près du site d'étude ;
- **un télémètre portable** permettant de mesurer les hauteurs ;
- **un décamètre** utilisé pour les relevés de grandes distances et des circonférences ;
- **un mètre** utilisé pour mesurer les courtes distances ;
- **Un niveau à bulle** pour mesurer les pentes
- **des logiciels :**
 - le logiciel **Autodesk Revit** utilisé pour la modélisation des bâtiments et la détection des conflits entre les différents lots ;
 - le logiciel **Lumion** utilisé pour produire des rendus 3D immersifs ;
 - le logiciel **QGIS** utilisé pour le géoréférencement des bâtiments.

II- ETUDE DU SITE ET CONTRAINTES

II-1- Recueil et vérification des données

II-1-1- Recueil des données

Le recueil des données a porté sur plusieurs sources d'informations utilisées pour la création de la maquette numérique. On peut citer :

Plans architecturaux : Ils nous ont permis d'identifier la disposition des espaces, les dimensions des pièces, la position des ouvertures (portes et fenêtres) ainsi que l'organisation générale des structures.

Plans de plomberie : Ils présentent l'agencement des installations, incluant les réseaux de tuyauterie (eaux vannes, eaux usées, eau froide, eaux pluviales, etc.), en précisant leur emplacement, leurs dimensions et leur connexion aux équipements sanitaires.

Visite sur site : Des visites régulières des bâtiments ont été effectuées afin de valider les informations issues des plans et d'observer les détails non représentés sur les

documents existants. Cette étape a également permis d'évaluer l'état actuel des infrastructures et d'identifier d'éventuelles dégradations nécessitant une rénovation.

II-1-2- Vérification des données

Une fois les données collectées, il était essentiel de procéder à une vérification approfondie de celles-ci avant de les intégrer dans la maquette BIM.

Vérification de la conformité des plans avec la réalité : Nous avons effectué des comparaisons entre les plans collectés et les données récoltées sur le site afin de corriger les incohérences et de prendre en compte les éléments absents des plans.

Contrôle de la précision des dimensions : Les visites effectuées sur site pour vérifier les écarts entre les dimensions indiquées sur les plans et la réalité nous ont permis de prendre des décisions éclairées quant aux mesures à intégrer dans la maquette numérique pour assurer une représentation fidèle.

II-2- État des lieux des bâtiments

II-2-1- Description des bâtiments administratifs

Les bâtiments C et D sont des édifices R+2 qui se ressemblent énormément. Vue d'en haut, leur apparence est presque identique. En effet, les deux bâtiments présentent un vide de section carré en leur sein qui part du rez-de-chaussée à la toiture dalle. L'intérieur du bâtiment est composé de salles de classe, de bureaux, de cages d'escalier et d'ascenseur, de sanitaires et de locaux techniques.

II-2-2- États des structures et des matériaux

Les bâtiments C et D présentent une structure en bon état. En effet, les poteaux, les poutres, les murs, les planchers et les toitures sont encore fonctionnels et remplissent entièrement leurs fonctions d'utilisation.

II-2-3- Système de plomberie et équipements

Le système de plomberie des bâtiments est vieillissant. Certains équipements sanitaires, tels que les lavabos, les toilettes et les robinets, sont hors d'usage. Ces équipements nécessitent soit une réparation, soit un remplacement (le cas échéant) afin de garantir un bon fonctionnement et d'assurer le confort des usagers.

II-2-4- Autres problèmes identifiés

Les problèmes identifiés lors des différentes visites sont nombreux et nécessitent des interventions ciblées afin d'améliorer la sécurité, le confort et la fonctionnalité des bâtiments C et D. On peut citer les problèmes suivants :

- faible éclairage des escaliers — les escaliers manquent de luminosité, ce qui peut rendre les déplacements moins sûrs, surtout pendant la nuit ;
- ascenseur hors service du bâtiment D — l'ascenseur du bâtiment D est en panne, rendant difficile l'accessibilité aux étages supérieurs, en particulier pour les personnes à mobilité réduite ;
- obscurité presque totale du sous-sol — le sous-sol des bâtiments souffre d'un manque d'éclairage, ce qui peut poser des problèmes de sécurité, notamment à cause des chauves-souris ;
- balustrades endommagées — les balustrades des bâtiments sont dans un état de dégradation avancé, ce qui représente un risque majeur pour la sécurité des individus.

L'ensemble de ces dysfonctionnements justifie la nécessité d'une rénovation globale afin d'améliorer les conditions d'utilisation des bâtiments et d'assurer la sécurité et le bien-être des occupants.

CONCLUSION PARTIELLE

Pour conclure, nous pouvons dire que l'ensemble des outils et techniques utilisés pour collecter et vérifier les informations s'est avéré efficace, en ce sens qu'il nous a permis de mesurer l'écart entre les plans et la réalité et de mettre en œuvre des moyens pour traiter les informations absentes des plans. Les visites sur site nous ont également permis d'identifier certaines imperfections au niveau des bâtiments qui nécessitent une rénovation. La deuxième partie de ce travail se consacrera, pour sa part, à la technique employée pour matérialiser la maquette numérique BIM et toutes les informations qu'elle contient.



DEUXIEME PARTIE : ÉLABORATION ET INTÉGRATION DES ÉLÉMENTS ARCHITECTURAUX ET DE PLOMBERIE AU BIM

CHAPITRE 4 : CONCEPTION DES ELEMENTS ARCHITECTURAUX

INTRODUCTION

La modélisation BIM des lots architecturaux d'un bâtiment existant requiert une approche méthodique afin d'assurer une représentation fidèle. Cette approche s'appuie à la fois sur l'exploitation des relevés de site pour l'aspect architectural et les hauteurs, et sur les plans 2D pour garantir la précision du modèle. Toutefois, la diversité des formes et des matériaux peut poser des défis, notamment lorsque certains composants ne sont pas disponibles dans les bibliothèques standards de Revit. Ce chapitre présentera les différentes étapes pour modéliser les lots architecturaux de la maquette numérique tout en portant une attention particulière sur la modélisation des éléments absents des bibliothèques standards.

I- Configuration du projet

La configuration du projet constitue une étape essentielle qui assure une base solide pour la modélisation. Elle inclut les étapes suivantes :

I-1- Création d'un gabarit

Nous choisissons un gabarit adapté au type de projet à réaliser (***gabarit architectural***). Ce choix est crucial, car il détermine les paramètres par défaut, les familles disponibles et les styles d'annotations qui seront utilisés.

I-2- Réglage des unités de mesure

Nous définissons les ***unités*** appropriées pour les longueurs, les surfaces, les volumes et les angles (dans le cas de notre projet, nous avons opté pour les unités de mesure dérivées du millimètre). Cette étape garantit la cohérence des dimensions tout au long du projet.

I-3- Organisation des niveaux et des grilles

Les niveaux sont créés dans une vue d'élévation ou de coupe pour représenter les différents plans horizontaux du bâtiment.

Les **grilles** sont ensuite ajoutées dans une vue en plan afin de définir les axes principaux de construction. Ces éléments constituent des références essentielles pour le positionnement des colonnes et des poutres.

I-4- Importation des plans DWG

Les plans existants au format DWG sont importés dans Revit en vérifiant que les unités du fichier DWG correspondent à celles du projet. Une fois le fichier DWG intégré, il devient un guide utile pour le positionnement des éléments architecturaux.

II- Modélisation de structure de base

II-1- Modélisation des poutres

Les poutres sont des éléments structuraux horizontaux essentiels pour supporter les charges des planchers et répartir les efforts aux poteaux. Elles sont créées en utilisant l'outil **Poutre** dans l'onglet **Structure**. La procédure inclut les étapes suivantes :

- la création d'un nouveau type de poutre en ajustant les paramètres comme les dimensions, les matériaux et les finitions ;
- le traçage des poutres dans une vue en plan, en suivant les axes définis par les grilles ;
- l'ajustement des niveaux et des connexions avec les poteaux pour assurer une continuité sans erreurs.

II-2- Modélisation des poteaux

Les poteaux sont des éléments verticaux cruciaux pour transférer les charges des planchers et poutres vers les fondations. Ils sont modélisés en utilisant l'outil **Poteau** dans l'onglet **Structure**. La démarche comprend :

- la création d'un nouveau type de poteau en ajustant les dimensions, les matériaux et les finitions selon les besoins ;
- le placement des poteaux dans une vue en plan, en respectant les positions exactes indiquées par les plans ;

- l'ajustement des hauteurs des poteaux pour correspondre aux niveaux définis et garantir une connexion correcte avec les poutres et les planchers.

II-3- Modélisation des escaliers

Les escaliers sont des éléments essentiels pour permettre la circulation verticale entre les différents niveaux d'un bâtiment. Ils sont modélisés en utilisant l'outil **Escalier** dans l'onglet **Architecture**. La démarche comprend :

- la création d'un nouveau type d'escalier en ajustant les dimensions (largeur de volée, hauteur de marche, giron), les matériaux et les finitions selon les relevés sur site ;
- le placement des escaliers dans une vue en plan, en respectant les positions exactes indiquées par les plans architecturaux ;
- l'ajustement des hauteurs des escaliers pour correspondre aux niveaux définis, en veillant à garantir une connexion fluide entre les paliers, les planchers et les murs adjacents.

II-4- Modélisation des murs

Les murs constituent les éléments verticaux de base de l'enveloppe et la division des pièces du bâtiment, assurant à la fois une fonction structurelle et esthétique. Ils sont modélisés en utilisant l'outil **Mur** dans l'onglet **Architecture**. La démarche comprend :

- la création d'un nouveau type de mur en ajustant les paramètres comme l'épaisseur, les matériaux et les couches de finition ;
- le traçage des murs dans une vue en plan en suivant les contours définis par le fichier DWG ;
- la vérification des hauteurs des murs pour correspondre aux niveaux définis dans les relevés sur site.

II-5- Modélisation des planchers

Les planchers sont essentiels pour délimiter les niveaux horizontaux et supporter les charges. Ils sont modélisés en utilisant l'outil **Plancher**, avec les étapes suivantes :

- la création d'un nouveau type de plancher, avec des ajustements pour les matériaux et les finitions ;
- l'accès à une vue en plan pour dessiner les contours du plancher à l'aide de l'outil Ligne ;
- le placement du plancher au niveau approprié et la validation des raccords avec les murs pour assurer une continuité sans erreurs.

II-6- Modélisation des toitures

Les toitures sont des éléments horizontaux ou inclinés qui protègent le bâtiment des intempéries tout en contribuant à son esthétique. Elles sont modélisées en utilisant l'outil **Toit** dans l'onglet **Architecture**. La démarche comprend :

- la création d'un type de toiture en fonction des matériaux, des finitions et des pentes nécessaires ;
- le dessin des contours de la toiture dans une vue en plan, en respectant les dimensions relevées sur les plans existants ;
- l'ajustement des jonctions avec les murs et autres éléments architecturaux pour assurer une continuité et une étanchéité parfaites.

III- Ouvertures (création des familles de portes et fenêtres)

III-1- Création d'une nouvelle famille dans Revit

Une fois les relevés terminés, une famille personnalisée est créée dans Revit. Pour cela, un gabarit adapté est sélectionné, comme **Porte métrique** ou **Fenêtre métrique**.

Ce gabarit sert de base pour modéliser les ouvertures en fonction des dimensions et des spécifications relevées. L'objectif est de concevoir une famille paramétrique qui pourra être ajustée et réutilisée dans le projet si nécessaire.

III-2- Définition des paramètres de la famille

Dans cette étape, des **paramètres** sont définis pour personnaliser la famille. Les dimensions principales, telles que la largeur, la hauteur et l'épaisseur du cadre, sont

intégrées. D'autres paramètres, comme les matériaux, le type de vitrage et les finitions, sont également configurés. Ces paramètres permettent d'ajuster facilement la famille pour répondre aux variations spécifiques des ouvertures relevées sur site.

III-3- Modélisation des éléments de la famille

À partir des données collectées, les éléments de la famille sont modélisés à l'aide des outils 3D de Revit. Les cadres des portes et des fenêtres sont créés en respectant les dimensions relevées. Les vitrages et les détails décoratifs, comme les poignées, sont ajoutés pour reproduire fidèlement les caractéristiques observées. Les contours des ouvertures sont soigneusement dessinés et les proportions sont vérifiées pour garantir une modélisation réaliste.

III-4- Application des matériaux

Une fois la géométrie de la famille modélisée, les matériaux observés sur site sont appliqués. Par exemple, le bois, l'aluminium ou le verre sont configurés avec leurs propriétés spécifiques. Pour les vitrages, la transparence et les reflets sont ajustés afin de refléter les conditions réelles. Cette étape contribue à donner un rendu visuel fidèle et cohérent à la famille modélisée.

III-5- Insertion des familles dans le projet

La dernière étape consiste à **charger la famille** dans le projet Revit. Les portes et les fenêtres sont placées dans les murs en respectant les positions exactes indiquées. Les hauteurs d'allège et les dimensions des ouvertures sont vérifiées pour garantir leur conformité avec les plans. Enfin, les raccords entre les portes, les fenêtres et les murs sont ajustés pour éviter tout décalage ou incohérence. Une vérification finale est effectuée pour s'assurer que les familles s'intègrent parfaitement dans le projet.

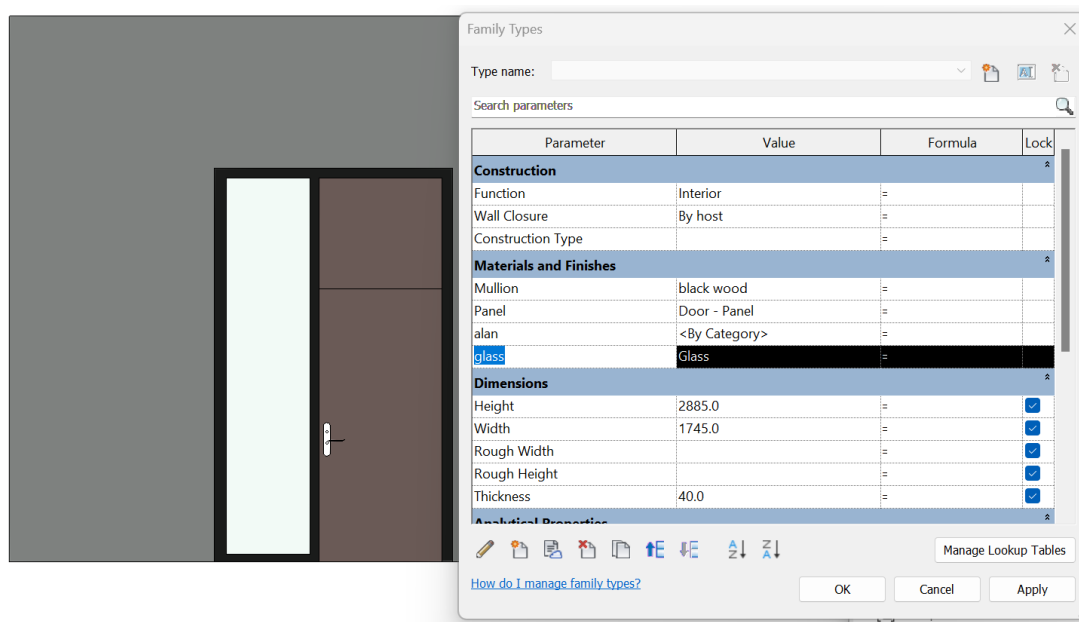


Figure 16: Famille de portes pour les salles de classe

Source : (Revit, 2025)

IV- Création des textures et des modèles génériques

Dans le cadre de la maquette numérique BIM des bâtiments C et D de l'INP-HB sud, la création de textures et de modèles génériques sous Revit est une étape clé pour donner plus de réalisme et de précision à la modélisation. Elle permet d'adapter les matériaux et d'intégrer des objets spécifiques aux bâtiments existants, afin qu'ils reflètent fidèlement la réalité. Ce travail se divise en deux parties : d'un côté, la création et l'application de textures sur mesure, et de l'autre, la conception de modèles génériques adaptés aux caractéristiques du projet.

IV-1- Création et application des textures personnalisées

Les textures jouent un rôle essentiel dans la représentation des matériaux en 3D. Elles apportent du réalisme aux surfaces en intégrant des détails comme les motifs, le relief et les effets de réflexion. Pour ce projet, elles ont été conçues à partir des relevés effectués sur site et d'images de référence de matériaux comme le bois, le béton et la pierre. Afin d'obtenir des textures de haute qualité, l'application **Materialize** a été utilisée. Cet outil a permis de convertir des images 2D en cartes PBR (Physically Based Rendering) complètes, comprenant notamment :

- **carte diffuse** représente les couleurs de base du matériau sans effets d'ombre ou de lumière ;
- **carte de rugosité** définit la brillance ou la matité de la surface ;
- **carte normale** simule les reliefs et les imperfections ;
- **carte de hauteur** ajoute une profondeur visuelle pour renforcer le réalisme.

Après leur création, ces textures ont été intégrées dans l'éditeur de matériaux de Revit. Les paramètres ont été ajustés pour correspondre aux propriétés physiques observées sur le site. Une fois configurés, ces matériaux personnalisés ont été appliqués aux éléments du modèle, comme les murs, les planchers et les toitures, afin d'assurer une cohérence visuelle et une modélisation fidèle à la réalité.

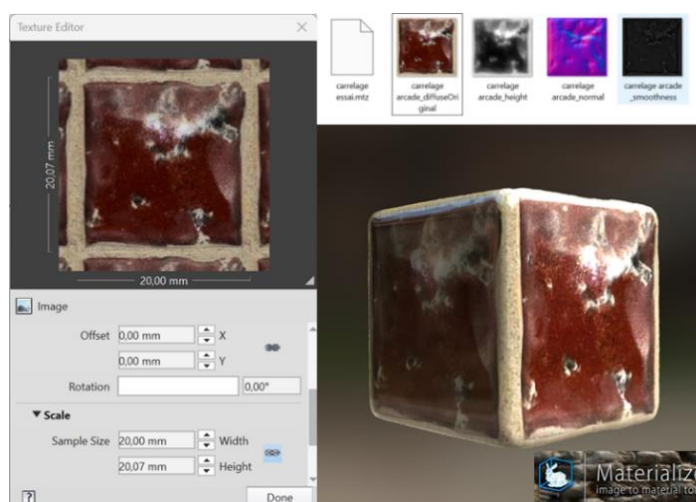


Figure 17: Création de texture personnalisée
Source : (Materialize, 2024)

IV-2- Création de modèles génériques

Les modèles génériques permettent de représenter des éléments architecturaux ou structurels qui ne sont pas disponibles dans les bibliothèques standards de Revit. Ils incluent des détails spécifiques, comme des éléments uniques repérés lors des relevés sur site. La création de ces modèles suit plusieurs étapes :

- **la définition des formes et des dimensions** dans un gabarit de famille générique ;
- **la modélisation de la géométrie** à l'aide des outils de création de formes (*extrusion, balayage, révolution*) pour construire l'objet en 3D ;

- **l'application des matériaux** — les textures personnalisées, créées avec Materialize, sont intégrées pour un rendu réaliste. Les propriétés des matériaux sont ajustées pour correspondre aux caractéristiques relevées sur site ;
- **l'ajout de paramètres** — des paramètres flexibles sont intégrés pour permettre une adaptation rapide des dimensions ou des propriétés des modèles dans le projet principal.

Une fois les modèles génériques finalisés, ils sont chargés dans le projet principal Revit. Ces éléments sont ensuite positionnés conformément aux relevés ou aux plans existants et leur intégration est vérifiée pour garantir une cohérence avec les autres composants du modèle.

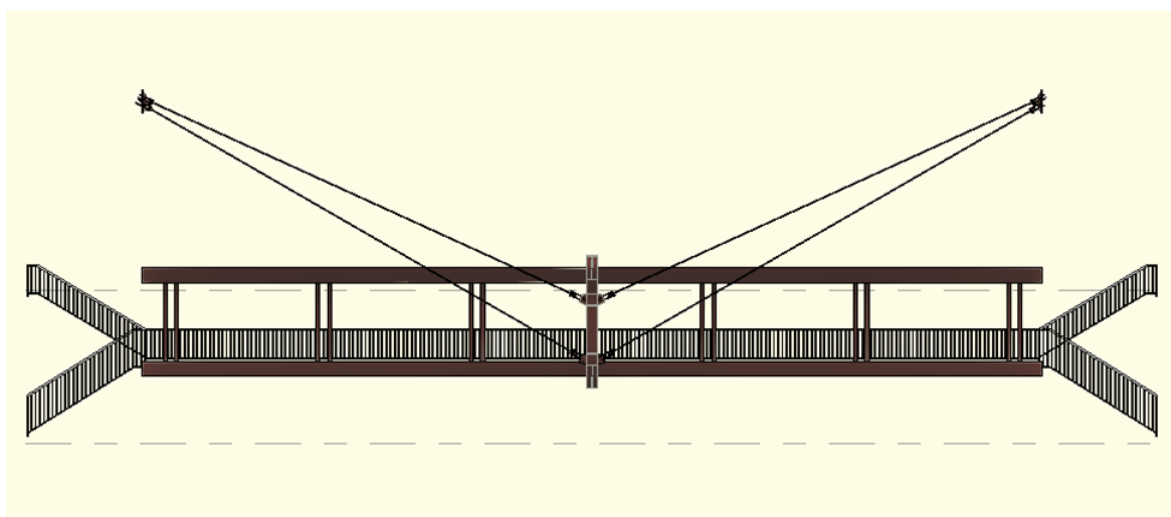


Figure 18: Modèle générique d'une passerelle
Source : (Revit, 2024)

CONCLUSION PARTIELLE

En somme, la modélisation BIM des lots architecturaux des bâtiments C et D a reposé sur une méthodologie rigoureuse combinant l'exploitation des relevés in situ et l'interprétation des plans 2D. L'intégration des éléments non disponibles dans les bibliothèques standards de Revit a nécessité une approche spécifique, garantissant ainsi la fidélité de la maquette numérique à la réalité. Dans la suite de cette partie, nous aborderons la démarche employée pour modéliser les réseaux de plomberie.

CHAPITRE 5 : MODELISATION DES RESEAUX DE PLOMBERIE

INTRODUCTION

La conception des réseaux de plomberie dans un bâtiment existant nécessite une approche rigoureuse alliant relevés de terrain précis et modélisation numérique avancée. Ce chapitre présentera tout d'abord les différentes méthodes employées pour l'acquisition des données sur le terrain, en mettant en avant les outils et techniques utilisés pour relever avec précision les caractéristiques physiques des différentes canalisations. Ensuite, il détaillera la méthodologie adoptée pour la conception des réseaux de plomberie. Enfin, une attention particulière sera portée à la détection des conflits entre les différents lots.

I- Acquisition des données in situ pour la modélisation des réseaux de plomberie

I-1- Mode d'acquisition des informations visuelles

Les visites effectuées sur le site, particulièrement dans les toilettes accessibles aux étudiants et leurs gaines techniques associées, nous ont permis d'obtenir une quantité significative d'informations sur l'organisation des équipements sanitaires et des réseaux de plomberie du bâtiment C du campus Sud de l'INPHB. Ces visites ont été essentielles pour comprendre la disposition des équipements, identifier les matériaux utilisés et relever les pentes et les dimensions des différentes conduites.

Afin d'exploiter efficacement ces observations, nous avons réalisé de courtes vidéos des toilettes et des gaines techniques, capturant ainsi la disposition des équipements sanitaires (WC, urinoirs, siphons, lavabos) ainsi que les portions visibles des réseaux de plomberie, notamment dans les gaines techniques et les faux plafonds. Ces vidéos nous ont été d'une grande utilité lors de la conception des réseaux de plomberie sur Revit, en nous fournissant une référence visuelle précise pour la disposition des éléments et la modélisation fidèle du réseau existant.



Figure 19: L'intérieur d'une gaine technique et d'un faux plafond
Source : (Notre étude, 2025)

En complément, nous avons également procédé à des relevés manuels afin de documenter les éléments difficilement visibles sur les enregistrements, tels que les types de raccords et les jonctions entre différentes canalisations.

I-2- Identification des matériaux des canalisations

L'un des objectifs majeurs de ces relevés a été l'identification des matériaux des différentes conduites. La présentation des différentes photos des conduites à un plombier professionnel, nous a permis de distinguer plusieurs types de tuyaux selon leur fonction :

- **eau froide sanitaire** — majoritairement en cuivre et en acier galvanisé ;
- **eaux usées et eaux vannes** — principalement en PVC, avec des segments en fonte pour les anciennes installations ;
- **eaux pluviales** — essentiellement en PVC.

I-3- Détermination des pentes et des sens d'écoulement des conduites

Les pentes et les sens d'écoulement des conduites ont été mesurés à l'aide d'un niveau à bulle, emprunté sur un chantier de construction de bâtiments universitaires situé sur le site centre de l'INP-HB. Ce niveau présente une particularité technique : une fois positionné sur la canalisation, il permet de déterminer avec précision le sens d'écoulement gravitaire des eaux usées, vannes et sanitaires, ainsi que l'angle de déviation par rapport à l'horizontale.

I-4- Détermination des diamètres des conduites

Les dimensions des conduites ont été obtenues par une série de mesures sur site. À l'aide d'un décimètre, nous avons relevé la circonférence des tuyaux des différents réseaux (eau froide, eaux usées, eaux vannes et eaux pluviales). Ces mesures nous ont permis d'en déduire le diamètre extérieur des conduites à partir de la relation suivante :

$$D = \text{circonférence} / \pi$$

Le diamètre obtenu a ensuite été comparé aux diamètres normalisés en fonction du matériau du tuyau, afin de garantir une modélisation fidèle aux installations existantes et conforme aux standards en vigueur.

II- Modélisation des réseaux d'alimentation en eau froide sanitaire et d'évacuations des eaux pluviales usées et vannes

II-1- Configuration du projet

À l'instar de la phase de modélisation architecturale, cette étape débute par la configuration du projet. Celle-ci repose sur la création d'un **gabarit** spécifique à la plomberie, pour deux raisons essentielles. D'une part, ce gabarit intègre l'ensemble des composants nécessaires à la configuration du projet. D'autre part, il permet d'optimiser la gestion des ressources en allégeant le poids du fichier Revit, réduisant ainsi les risques de ralentissement ou de bugs. Une fois le gabarit défini, l'étape suivante consiste à paramétrer les **unités** adaptées aux longueurs, aux surfaces et aux angles. Dans le cadre de notre projet, nous avons opté pour des unités de mesure dérivées du millimètre. La dernière étape consiste

à intégrer les plans architecturaux des différents niveaux du bâtiment C afin d'utiliser le positionnement des murs des toilettes et des gaines techniques comme repère visuel pour l'implantation des canalisations.

II-2- Téléchargement des bibliothèques Revit MEP

Avant d'entamer la phase de modélisation des réseaux de plomberie, il est essentiel d'importer les bibliothèques d'équipements sanitaires et de canalisations nécessaires à la conception du projet. Cette étape garantit la disponibilité des familles d'objets Revit adaptées aux exigences techniques du bâtiment. L'obtention des familles d'équipements et de canalisations s'effectue principalement via la bibliothèque BIM d'Autodesk sur le site **Autodesk BIM Content Library**, qui met à disposition une large gamme de composants pré-paramétrés.

II-3- Placement des équipements sanitaires dans le modèle

Au niveau de cette étape, il est question de charger les équipements dans le modèle via l'onglet **Insérer > Charger une famille**, puis de placer chaque équipement en tenant compte des contraintes spatiales et fonctionnelles relevés sur site, afin d'assurer la cohérence avec l'existant.

II-3-1- Chargement des raccords

Les raccords jouent un rôle clé dans l'interconnexion des canalisations. Différents types de raccords sont nécessaires pour adapter le réseau aux exigences du bâtiment :

- coudes (permettant les changements de direction) ;
- T et croisements (assurant la dérivation des flux) ;
- chapeaux et bouchons (pour fermer les sections non utilisées) ;
- transformations et manchons (pour l'adaptation entre différents diamètres ou matériaux).

II-3-2- Configuration des types de canalisations

Les canalisations sont définies selon leurs caractéristiques techniques et leur usage dans le bâtiment. Pour les configurer, il faut accéder à l'onglet **Systèmes > Plomberie et canalisations**. Ensuite, il faut définir les diamètres des conduites et spécifier les matériaux

utilisés en fonction des réseaux concernés afin de créer des styles de canalisations distincts pour les différentes fonctions du réseau :

- alimentation en eau froide sanitaire (cuivre, acier galvanisé) ;
- évacuation des eaux usées (PVC) ;
- évacuation des eaux vannes (PVC et fonte) ;
- évacuation des eaux pluviales (PVC).

II-3-3- Dessin du réseau de plomberie

Pour ce faire, l'outil "Canalisation" est utilisé afin de tracer les conduites et d'assurer la liaison entre les différents équipements conformément aux relevés effectués sur site. Cette étape implique une disposition rigoureuse des réseaux, en veillant à respecter les dimensions, les pentes et les raccordements observés sur le site. Chaque canalisation doit être connectée aux appareils sanitaires et aux équipements techniques en tenant compte des contraintes fonctionnelles.

CONCLUSION PARTIELLE

Au terme de ce chapitre, il convient de retenir que la conception des réseaux de plomberie du bâtiment C a reposé sur une démarche structurée, combinant l'acquisition rigoureuse des données sur le site et une modélisation numérique avancée. L'analyse des conflits entre les différents lots et la mise en place de solutions adaptées renforcent la cohérence de la maquette numérique. Le prochain chapitre se consacrera à l'intégration de la maquette numérique à une plateforme collaborative et de gestion des données.

CHAPITRE 6 : INTEGRATION A LA PLATEFORME BIM

INTRODUCTION

L'intégration des données numériques dans une plateforme permet de centraliser et de coordonner toutes les informations techniques, architecturales et structurelles d'un projet afin d'optimiser la collaboration entre les différents acteurs impliqués. L'intégration BIM est essentielle pour garantir la compatibilité des données, minimiser les risques d'erreurs et de conflits. Ce processus offre un cadre intégré où la gestion des informations en temps réel devient une réalité, permettant ainsi une meilleure planification, une exécution plus fluide et une gestion optimale de la maintenance. Ce chapitre explore les étapes clés de l'intégration d'un projet dans une plateforme BIM, tout en mettant l'accent sur la gestion des conflits, le géoréférencement du projet et la collaboration entre les différents acteurs.

I- La plateforme BIM

I-1- Définition d'une plateforme BIM

Selon le site Biblus, une plateforme BIM est un environnement numérique permettant de centraliser toutes les informations relatives à un projet de construction. Elle sert à partager, coordonner et gérer les données entre tous les acteurs impliqués (architectes, ingénieurs, entreprises de construction, etc.).

I-2- Objectifs de l'intégration à la plateforme BIM

Dans le cadre de ce projet, nous avons opté pour la plateforme en ligne **BIMData** pour les raisons suivantes qui pourront être vérifiées sur le site officiel de BIMData:

- **Accès facile aux maquettes IFC sans logiciel lourd**

Elle permet de visualiser la maquette numérique en ligne, sans installation de logiciels volumineux, facilitant ainsi leur consultation sur tout type d'appareil.

- **Collaboration fluide et centralisée**

Elle facilite le partage des maquettes entre les différents acteurs du projet, l'ajout de commentaires et annotations directement sur le modèle ainsi que le suivi des modifications et de l'historique des mises à jour.

- **Interopérabilité optimisée avec d'autres outils BIM**

Elle prend en charge les formats IFC et BCF, ce qui permet d'intégrer les modèles provenant d'autres logiciels comme Revit, Autocad, Naviswork etc. Cette interopérabilité permet également de vérifier la conformité des maquettes aux standards BIM et d'automatiser certaines tâches grâce à son API ouverte (extraction de données, analyses, etc.).

- **Meilleure gestion des données pour l'exploitation et la maintenance**

BIMData offre une base solide pour suivre l'évolution des versions de la maquette, stocker des documents techniques et faciliter la gestion des infrastructures pour les bâtiments C & D.

II- Gestion des conflits

Bien que la plateforme **BIMData** offre de nombreux avantages, elle présente une limite majeure : l'absence de fonctionnalité intégrée pour **la détection des conflits**. Pour pallier cette contrainte, nous avons exploité les outils de Revit, qui permettent d'identifier et d'analyser les interférences entre les lots architecturaux et de plomberie. La méthodologie adoptée pour la gestion de ces conflits est détaillée ci-après :

- **Insertion du fichier Revit Plomberie dans le fichier Revit Architecture**

L'intégration du modèle de plomberie dans le modèle architectural est une étape essentielle pour garantir la cohérence et l'harmonie des différents lots du projet. Pour ce faire, il convient d'ouvrir le fichier Revit contenant le modèle architectural, puis d'accéder à l'onglet **Insérer** et de sélectionner **Lien Revit**. Une fois dans l'explorateur, choisir le fichier Revit de la plomberie et l'insérer en s'assurant qu'il soit correctement positionné par rapport au modèle architectural.

- **Activation de la discipline « Coordination » dans les propriétés de la vue 3D**

Une fois le modèle de plomberie intégré, il est crucial d'afficher clairement les éléments des deux disciplines pour faciliter leur analyse. Cette configuration se fait en accédant à l'arborescence du projet, puis en sélectionnant une **vue 3D**. Dans les **propriétés** de la vue, il suffit de localiser la catégorie **Discipline** et de choisir « **Coordination** ». Cette option permet de visualiser simultanément tous les éléments des différents modèles sans appliquer de filtre disciplinaire, rendant ainsi plus aisée la détection des interférences.

- Vérification des interférences avec l'outil de coordination

L'analyse débute par l'accès à l'onglet **Collaborer** dans le ruban, suivi de la sélection de **Vérification des interférences**. Une boîte de dialogue s'affiche, où il est nécessaire de définir les jeux d'éléments à comparer. Par exemple, le premier jeu d'éléments peut correspondre aux murs du modèle architectural, tandis que le deuxième jeu d'éléments regroupera les réseaux de plomberie du modèle importé. Une fois les catégories définies, l'analyse peut être lancée afin d'afficher la liste des conflits détectés.

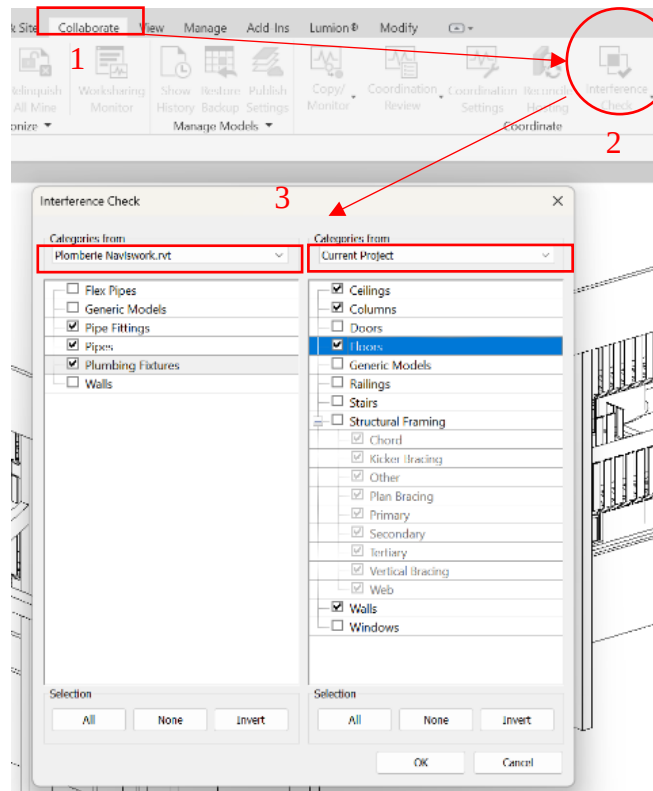


Figure 20: Vérification des interférences
Source : (Revit, 2025)

- Correction progressive des interférences

Après obtention de la liste des interférences, une approche méthodique doit être adoptée pour les résoudre efficacement. Chaque conflit doit être examiné en détail en visualisant la zone concernée en vue 3D ainsi qu'en vue en plan. Les ajustements nécessaires peuvent alors être effectués, par exemple en modifiant la position des éléments de plomberie. Après chaque correction, il est nécessaire de relancer l'outil de vérification des interférences afin de s'assurer que la modification a permis d'éliminer le conflit. Ce processus doit être répété jusqu'à ce que toutes les interférences critiques aient été supprimées, garantissant ainsi une parfaite coordination entre les disciplines.

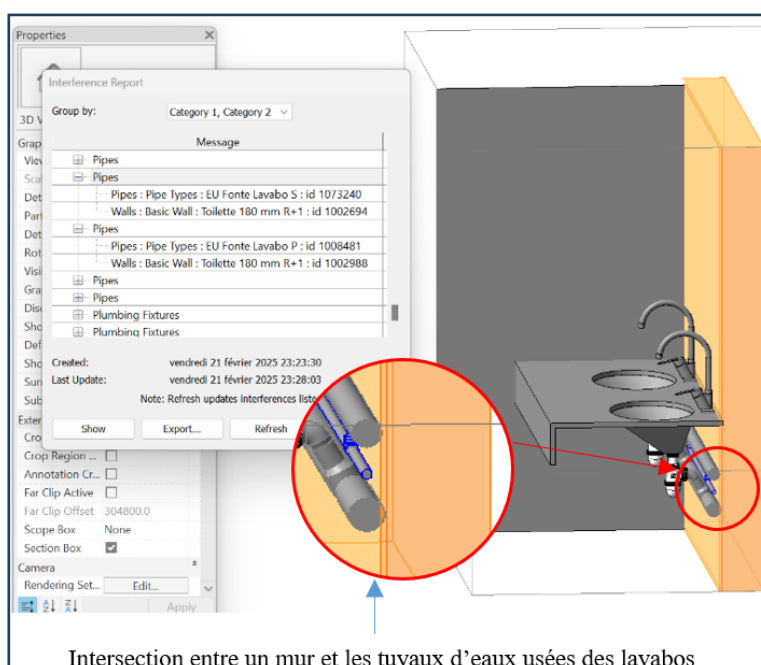


Figure 21: Détection d'un conflit à corriger

Source : (Revit, 2025)

III- Géoréférencement des bâtiments C & D

Selon le Manuel de Référence du Système Géodésique Mondial WGS84 (DoD, 1984, 2000), le géoréférencement est défini comme le processus établissant une correspondance entre des données et des coordonnées dans un système de référence terrestre. Dans le cadre de notre projet, cette opération nous a permis de positionner avec précision les bâtiments C

et D dans un environnement SIG (Système d'Information Géographique), facilitant ainsi leur intégration dans la maquette numérique BIM.

Pour réaliser cette opération, nous avons utilisé les logiciels suivants :

- **Google Earth pro**

Une fois sur l'interface de **Google Earth**, il convient d'activer l'affichage des coordonnées dans la projection transverse de Mercator via le menu **Outils > Options**. Ensuite, en saisissant INP-HB Sud dans la barre de **recherche**, il est possible de localiser précisément la zone d'étude. Des **repères** doivent alors être placés aux quatre coins des bâtiments C et D, permettant ainsi d'extraire leurs coordonnées UTM. Ces données seront ensuite consignées dans un tableau Excel, puis exportées au format **CSV (Comma-Separated Values)**, un format structuré facilitant leur exploitation dans un environnement **SIG**.

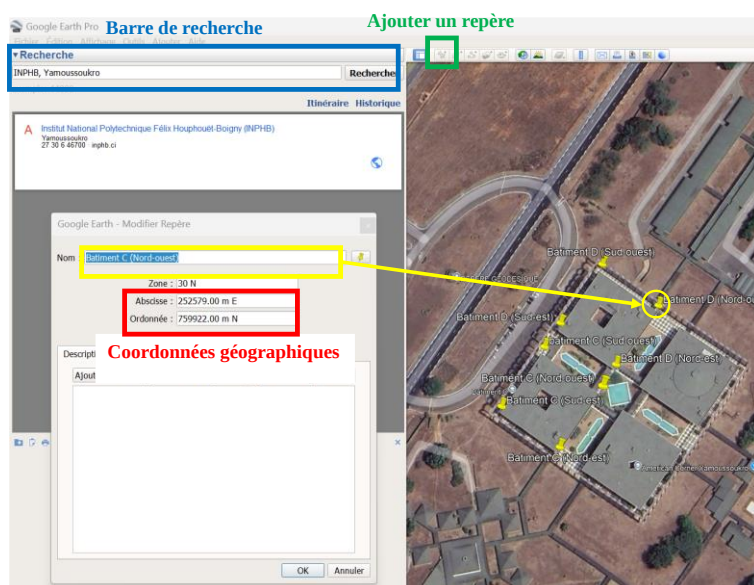


Figure 22: Détermination des coordonnées géographiques des bâtiments C & D
Source : (Google Earth Pro, 2025)

- **QGIS 3.40**

Selon le site officiel de **QGIS 3.40**, QGIS (Quantum GIS) est un logiciel open-source de Système d'Information Géographique (**SIG**) utilisé pour diverses tâches liées à la gestion et à l'analyse des données géospatiales. Ce logiciel nous a permis de réaliser le géoréférencement des bâtiments C et D. Nous détaillerons ci-après la méthode utilisée pour géoréférencer ces bâtiments.

Avant de commencer, il est nécessaire de définir le système de coordonnées de référence **EPSG :32630 -WGS / UTM zone 30N**, qui est le système géodésique de référence utilisé pour la ville de Yamoussoukro. Cela se fait dans l'onglet **Projet** > **Propriétés du projet** > **SCR**.

Une fois le **SCR** sélectionné, il faut accéder au **géoréférenceur** via le menu **Couche** puis ajouter un **raster** (un type de donnée géospatiale représentant des informations sous forme de grille de pixels). Ensuite, il convient de reproduire la méthode utilisée sur **Google Earth Pro** en sélectionnant les quatre coins des bâtiments, mais cette fois en saisissant manuellement les coordonnées extraites dans Excel. Enfin, le géoréférencement peut être lancé en choisissant la méthode d'échantillonnage du **plus proche voisin** dans les **paramètres de transformation**.

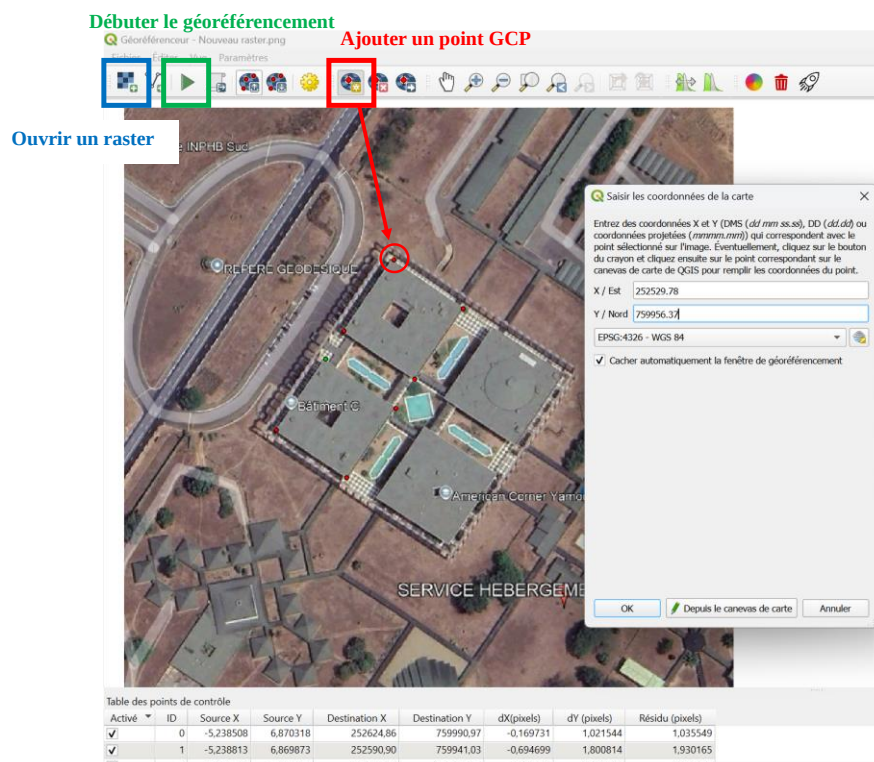


Figure 23: Géoréférencement des bâtiments C & D
Source : (QGIS 3.40, 2025)

La dernière étape consiste à importer le tableau **Excel** contenant les coordonnées géographiques au format **CSV** dans **QGIS 3.40**

Tableau 4: Les coordonnées géographiques des bâtiments C & D

Point	Coordonnée géographique	
	x (m)	y (m)
Batiment D (Nord-ouest)	252624,86	759990,97
Batiment D (Nord-est)	252590,9	759941,03
Batiment D (Sud-est)	252542,07	759976,55
Batiment D (Sud-ouest)	252576,47	760026,24
Batiment C (Nord-ouest)	252579,07	759922
Batiment C (Nord-est)	252544,78	759872,92
Batiment C (Sud-est)	252494,99	759906,98
Batiment C (Sud-ouest)	252529,78	759956,37

Source : (Excel, 2025)

Pour ce faire, il convient d'accéder à l'onglet **Couche** > **Gestionnaire des sources de données** > **Charger le fichier Excel CSV**, puis de vérifier l'alignement des points du géoréférencement avec les coordonnées géographiques présentes dans le fichier **CSV**. Une fois cette étape validée, il est alors possible d'intégrer toutes les données du géoréférencement sur la plateforme BIM.

IV- Méthodologie de l'intégration des bâtiments C & D

IV-1- Création de l'espace projet

Cette étape consiste à créer un espace dédié au projet pour l'importation et la visualisation des données rattachées à la maquette.

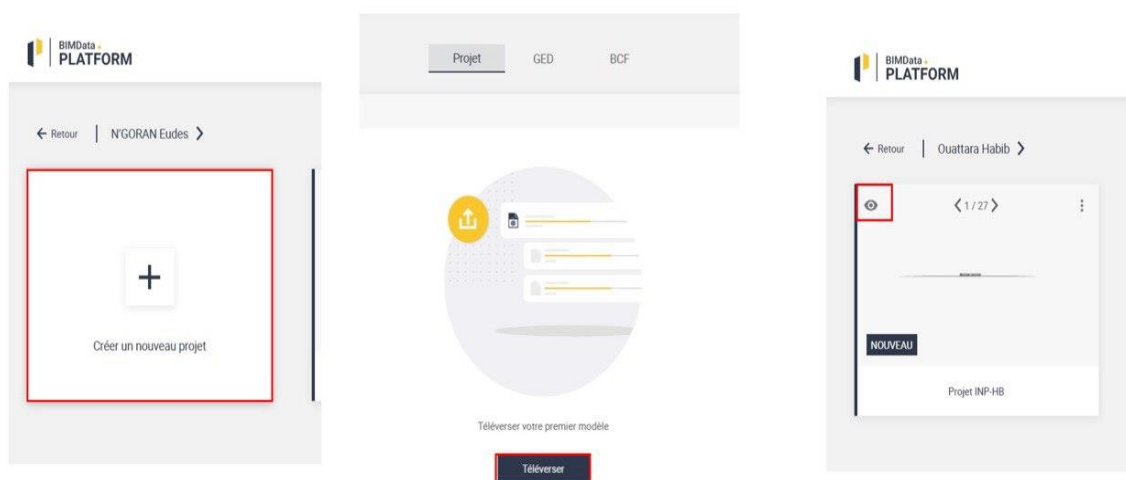


Figure 24: Création de l'espace projet
Source : (BIMData, 2025)

IV-2- Interface projet

L'image ci-dessous présente les différents outils et onglets de l'interface projet qui permettent la visualisation et la manipulation de la maquette numérique 3D.



Figure 25: l'interface de l'aperçu du projet
Source : (BIMData, 2025)

IV-3- Paramètre de localisation du projet

La géolocalisation constitue une étape incontournable dans l'élaboration d'une maquette numérique. Sur BIMData, cette fonctionnalité joue un rôle essentiel en garantissant la cohérence spatiale du projet et en facilitant son intégration dans son environnement réel.

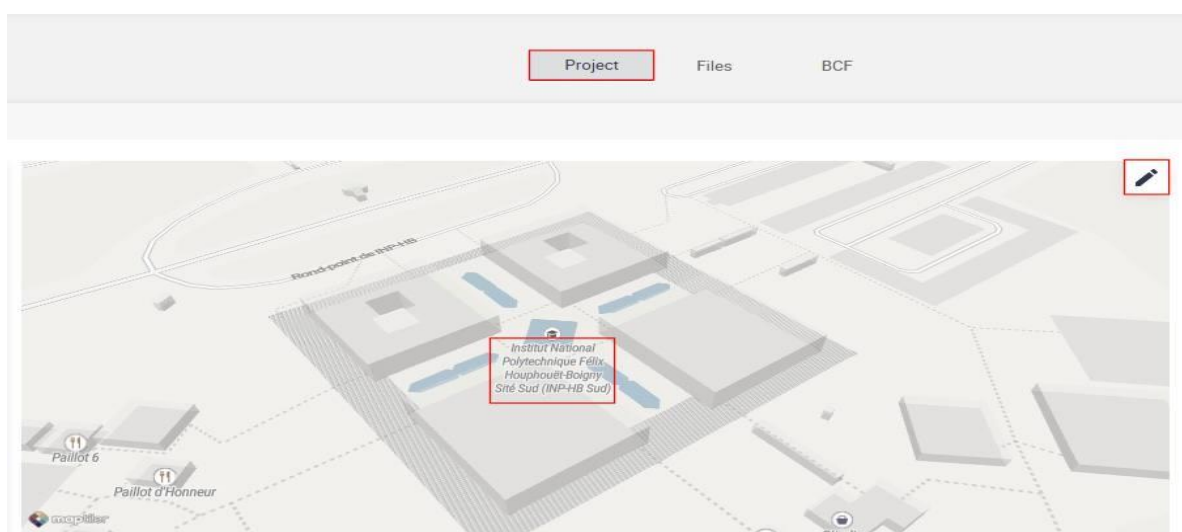


Figure 26: Géo-localisation du projet
Source : (BIMData, 2025)

IV-4- Collaboration et partage des données

IV-4-1- Invitation des collaborateurs

L'intégration de **collaborateurs** dans un projet est une étape essentielle, particulièrement dans notre cas. Cette fonctionnalité permet non seulement d'optimiser la collaboration, mais aussi d'offrir un contrôle précis des accès en fonction des **rôles** attribués. Elle assure ainsi aux responsables du projet une visualisation en temps réel de l'évolution du travail. La procédure d'ajout des collaborateurs s'effectue de la façon suivante :

- ouvrir le **projet** et sélectionner l'option **invitation** ;
- saisir l'adresse e-mail du collaborateur et lui attribuer un **rôle** défini pour gérer ses accès ;
- l'utilisateur reçoit une invitation par mail, qu'il devra accepter pour accéder au projet.

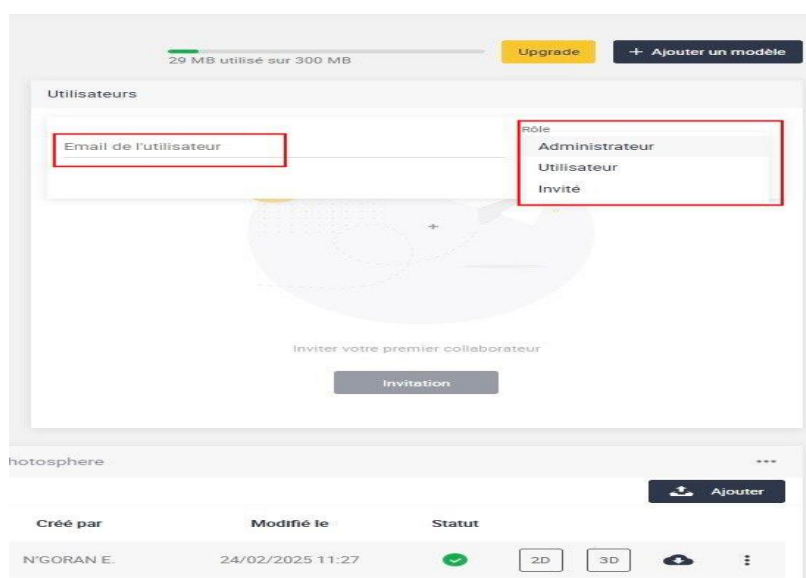


Figure 27: Ajout d'un utilisateur dans la plateforme

Source : (BIMData, 2025)

IV-4-2- Importation des modèles DWG, IFC, PDF...

En fonction de leurs **droits d'accès**, les utilisateurs peuvent importer et gérer des modèles **IFC, DWG, PDF** au sein de la **GED (Gestion Électronique des Documents)**.

Cette fonctionnalité permet de structurer et de centraliser la **documentation technique** associée à la maquette numérique.

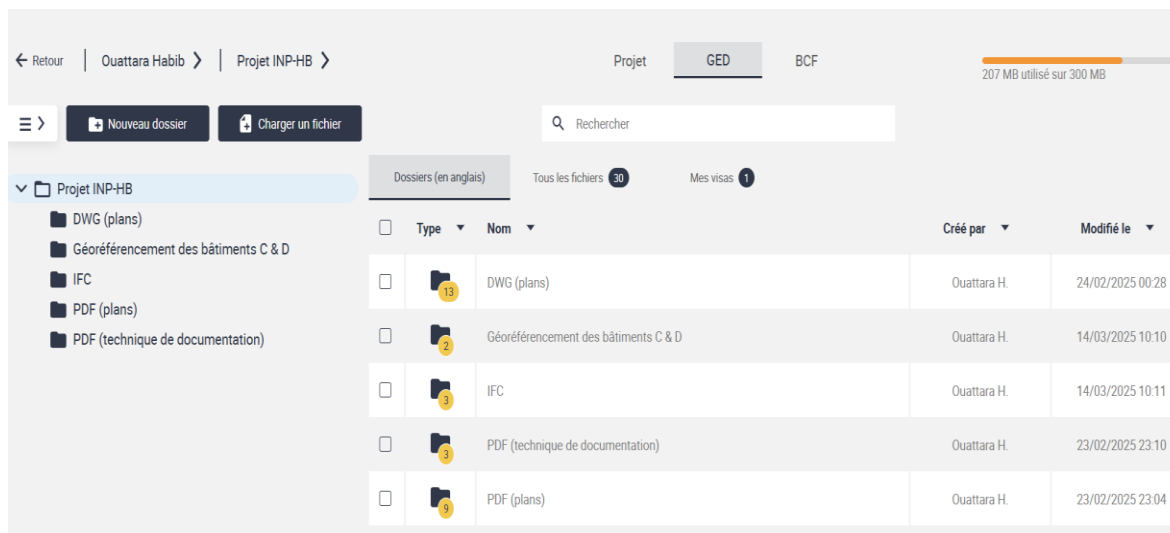


Figure 28: Gestion électronique des documents sur BIMData
Source : (BIMData, 2025)

IV-4-3- Gestion des problèmes BCF

Grâce au **BCF**, les utilisateurs peuvent partager des informations précises (annotations, captures d'écran, etc.) concernant les problèmes rencontrés dans la maquette numérique, tels que les conflits entre les lots architecturaux et de plomberie ou encore les erreurs de conception.

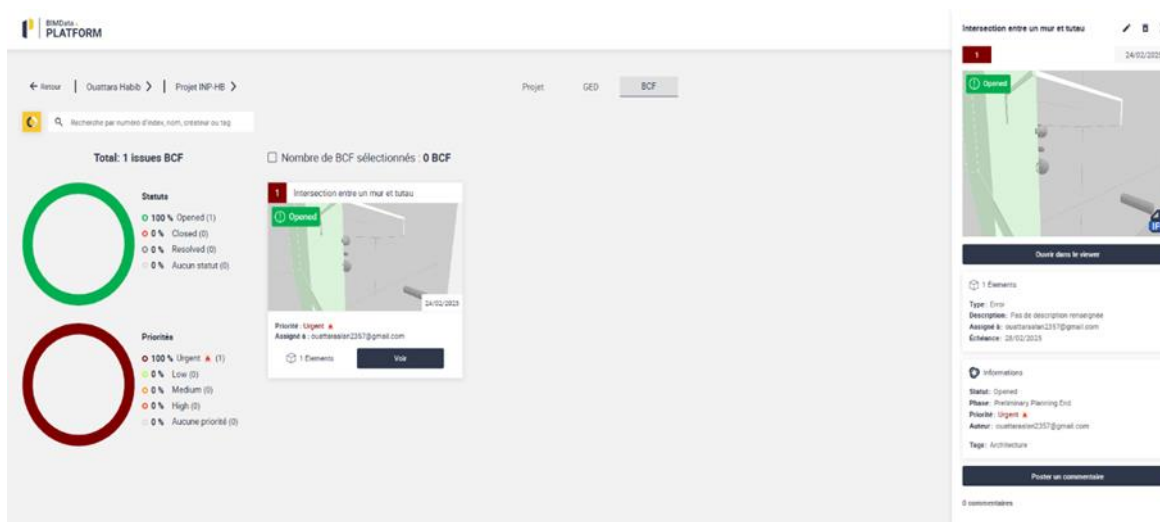


Figure 29: BCF montrant un conflit entre un mur et une canalisation
Source : (BIMData, 2025)

IV-4-4- Demande de validation VISA GED

L'onglet **GED** permet de générer une fiche de demande de validation **VISA**, destinée aux responsables, afin de valider ou refuser les documents à chaque étape du projet. Dans ce cadre spécifique, les demandes de validation des plans et documents ont été adressées à notre maître de stage, qui a assumé le rôle de **BIM Manager**.



Figure 30: Demande de validation de VISA
Source : (BIMData, 2025)

IV-5- Visualisation des fiches techniques virtuellement

En explorant la maquette numérique, il est possible d'accéder aux fiches techniques des différents composants en sélectionnant l'objet dont nous avons besoin de la documentation.

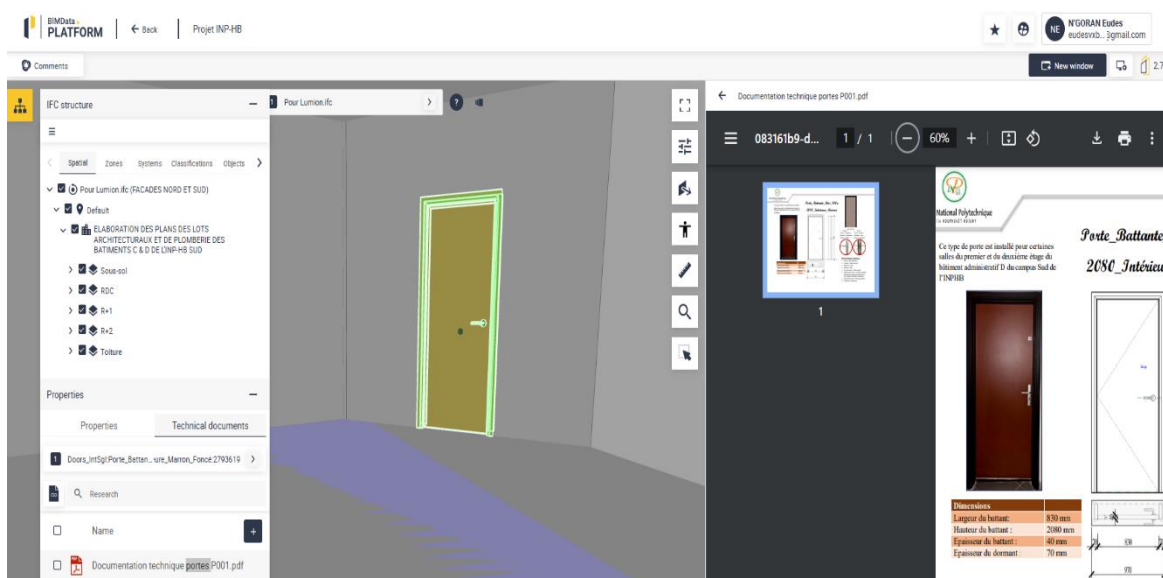


Figure 31: Fiche technique d'une porte
Source : (BIMData, 2025)



CONCLUSION PARTIELLE

Les outils BIM, tels que Revit et BIM Data, permettent de travailler simultanément sur des modèles à jour, favorisant ainsi une communication fluide et une coordination efficace entre tous les intervenants. L'intégration d'une plateforme BIM dans un projet représente une avancée significative pour l'industrie de la construction, avec un impact direct sur la qualité, les coûts et les délais des projets. Pour ce projet, il s'agit plus de maintenance et de rénovation. Cependant, pour exploiter pleinement ces avantages, il est crucial que toutes les parties prenantes soient formées et impliquées dès les premières étapes du projet. Nous aborderons par la suite la troisième et dernière partie du mémoire dédiée à la synthèse et aux recommandations.



TROISIEME PARTIE : SYNTHESE ET RECOMMANDATIONS

CHAPITRE 7 : ANALYSE CRITIQUE ET RESULTATS OBTENUS

INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus lors de l'intégration du processus BIM dans le projet de modélisation des lots architecturaux et de plomberie. Cette approche a permis d'améliorer significativement la précision, la collaboration et la gestion du projet, tout en offrant une vision claire de son évolution. Cependant, certaines difficultés ont également été rencontrées. Nous analyserons ici les bénéfices de l'approche BIM, tout en soulignant les obstacles rencontrés et les solutions mises en place pour les surmonter.

I- AVANTAGES DE L'APPROCHE BIM DANS CE PROJET

L'intégration du BIM dans ce projet a apporté une réelle valeur ajoutée. Voici les principaux bénéfices de cette approche :

Tableau 5: Les avantages du BIM dans ce projet

Précision et Réduction des Erreurs	Modélisation détaillée en 3D Le BIM permet de créer une maquette numérique très précise des bâtiments, incluant toutes les informations architecturales et techniques. Cette précision réduit les risques d'erreurs et d'incohérences dans les plans.
	Détection des conflits Grâce à des outils comme la détection des interférences (clash detection), le BIM aide à identifier les conflits entre les différents lots. Dans le cadre de ce projet, le logiciel Revit nous a aidé à identifier les interférences entre les conduits de plomberie et les éléments architecturaux.
Collaboration Améliorée	Modèle commun et centralisé Tous les intervenants peuvent travailler sur un même modèle partagé et à jour disponible sur la plateforme collaborative BIMData. Cela favorise une meilleure collaboration et communication entre les différents acteurs du projet (que sont les étudiants et leur maître de stage).
	Suivi en temps réel Les modifications apportées au modèle et les problèmes signalés via le format BCF sont instantanément visibles par toutes les parties prenantes, garantissant ainsi une coordination optimale tout au long du projet.

Gestion et Maintenance à Long Terme	Suivi post-construction La maquette BIM peut servir à la gestion de la maintenance et des rénovations futures. Les informations sur les installations de plomberie et autres éléments techniques sont intégrées dans la maquette et peuvent être facilement consultées pour planifier les réparations ou les mises à jour nécessaires.
	Gestion des données Le modèle peut contenir toutes les données techniques nécessaires à l'entretien des installations (caractéristiques des matériaux, dates d'installation, etc.), ce qui facilitera la gestion du bâtiment sur le long terme.
Visualisation et Communication avec les Parties Prenantes	Représentation 3D réaliste La maquette BIM permet de visualiser le projet sous forme de modèles 3D interactifs. Cela est très utile pour les parties prenantes et les autorités administratives pour comprendre facilement la conception des bâtiments et les installations.
	Documentation claire et complète La maquette BIM inclut non seulement des représentations visuelles, mais aussi des données techniques complètes (dimensions, matériaux, caractéristiques des équipements).

Source : (Excel, 2025)

II- Les difficultés rencontrées et les solutions apportées

II-1- Gestion des données manquantes

II-1-1- Constat des insuffisances dans les plans existants

Lors de la collecte des documents nécessaires à la modélisation, nous avons pu réunir d'anciens plans issus des archives de l'INP-HB ainsi que des fichiers DWG fournis par une entreprise en charge de la rénovation du système de climatisation des bâtiments C et D. Bien que ces documents aient constitué une base précieuse pour notre travail, ils se sont révélés incomplets, nécessitant ainsi la mise en place de solutions pour combler ces lacunes. En effet, les bâtiments C et D, achevés en 1979, disposent principalement de plans de coordination technique sous format papier, ce qui nécessitait donc leur numérisation. Cependant, cette opération a mis en évidence plusieurs absences critiques, notamment :

- les plans de coordination technique du sous-sol, des niveaux 0 et 1 du bâtiment D ;
- le plan de coordination technique du niveau 0 du bâtiment C ;

- les plans de coupe et de façade des bâtiments C et D.

Par ailleurs, Tout comme les plans provenant des archives de l'INP-HB, les fichiers DWG transmis par l'entreprise en charge de la rénovation du système de climatisation ne comportaient aucune information sur les façades des bâtiments, ni sur leurs plans de coupe ; limitant ainsi leur utilité pour la modélisation architecturale et structurelle.

II-1-2- Acquisition des données manquantes

Face à ces insuffisances, nous avons procédé à une campagne de relevés sur site afin de compléter les informations architecturales et structurelles manquantes. Des mesures ont été effectuées à l'aide d'un télémètre pour garantir la précision des hauteurs et enrichir la maquette numérique. Ces efforts ont permis d'extraire de la maquette numérique des vues en élévation, des plans de coupe et des représentations 3D détaillées.

II-2- Gestion des données incohérentes

II-2-1- Incohérences entre les plans existants et la réalité

Afin d'assurer la précision et la fiabilité de la maquette numérique, nous avons mené des visites régulières au sein des bâtiments C et D. Ces inspections nous ont permis d'effectuer une comparaison systématique entre les plans disponibles et les observations réalisées sur site. Cette démarche a révélé un écart significatif entre les documents existants et la réalité du terrain, touchant aussi bien les lots architecturaux que les réseaux de plomberie.

- Au niveau des plans de plomberie

Les plans de coordination technique, censés fournir une vue d'ensemble des différents lots du projet, allant de la structure à la plomberie, auraient dû constituer une référence précieuse pour la compréhension des réseaux de canalisation. Cependant, leur confrontation avec les installations réelles a révélé de nombreuses incohérences. Que ce soit en termes de fonctions, de positionnement, de matériaux, de pentes ou encore de diamètres des canalisations, aucune des informations contenues dans ces plans ne correspondait aux conditions réelles observées sur le site. Tout indiquait que des rénovations non documentées avaient été effectuées depuis 1979, rendant ces plans largement obsolètes et difficilement exploitables pour la conception des réseaux de plomberie. Cette situation a nécessité l'adoption d'une approche alternative, impliquant de dépenser beaucoup plus de temps et d'énergie que prévu pour pallier ces imprévus.

- Au niveau des plans architecturaux

Que ce soient les plans issus des archives de l'INP-HB ou les fichiers DWG fournis par l'entreprise chargée de la rénovation du système de climatisation des bâtiments C et D, ces documents présentaient des incohérences à plusieurs niveaux par rapport aux réalités du site. Parmi les principales incohérences relevées, on peut citer :

- des écarts dans les dimensions de certains poteaux, murs et ouvertures ;
- des divergences dans le positionnement de certains murs et portes ;
- une discordance dans l'orientation et le sens d'ouverture de certaines portes ;
- des variations dans les surfaces réelles des salles par rapport aux plans.

II-2-2- Traitement des incohérences relevées

Face à ces divergences, une méthodologie corrective a été mise en place afin d'aligner les plans avec la configuration réelle des bâtiments. Pour ce faire, une série de relevés de terrain a été réalisée, permettant de :

- identifier les modifications récentes apportées aux bâtiments ;
- recenser et vérifier le sens d'ouverture des portes ;
- rectifier les dimensions des salles, des poteaux, des murs et des ouvertures.

Toutefois, ces relevés n'ont pas été considérés comme une vérité absolue. Une analyse critique a été menée pour établir les dimensions les plus appropriées. Par exemple, lorsqu'une longueur de bâtiment était indiquée à 48 410 mm sur les plans et mesurée à 48 418 mm sur site, nous avons retenu la valeur des plans, considérant que des facteurs tels que l'élasticité du ruban ou l'angle de mesure pouvaient influencer les écarts constatés sur de longues distances.

II-3- Gestion des contraintes d'accès

II-3-1- Accès restreint à certains espaces

Face aux incohérences entre les plans et la réalité ainsi qu'à l'absence de certaines données, nous avons entrepris des relevés sur site. Toutefois, l'accès à certains espaces s'est révélé plus complexe que prévu, compliquant ainsi la collecte des informations nécessaires. Les principales zones concernées étaient :

- **les passerelles**, dont l'état dépassait l'État Limite de Service (*ELS*), interdisant formellement toute circulation pour des raisons de sécurité. De plus elles sont fortement dégradées et vétustes, et manquent d'entretien. ;
- **les toitures des bâtiments**, verrouillées et uniquement accessibles via une échelle ;

- **les gaines techniques et les faux plafonds**, dont tous les emplacements n'étaient pas accessibles.

II-3-2- Approches adoptées pour contourner ces contraintes

Plutôt que de nous laisser freiner par ces obstacles, nous avons mis en place des stratégies adaptées à chaque situation :

- **passerelles** — l'impossibilité d'y accéder nous a conduits à utiliser une application mobile permettant d'obtenir les dimensions requises à distance ;
- **gaines techniques et faux-plafonds** — afin d'assurer la précision de la maquette numérique sans endommager les structures existantes ni recourir à des suppositions, nous avons limité la modélisation aux toilettes dont les gaines techniques et la vue au-dessus des faux plafonds étaient accessibles ;
- **toitures** — la solution la plus efficace a consisté à recourir à des drones pour capturer des images détaillées et ainsi analyser la disposition des éléments sur la toiture.

Ces ajustements nous ont permis de surmonter les contraintes d'accès tout en maintenant l'exactitude des données intégrées à la maquette numérique.

II-4- Limites des bibliothèques standards

II-4-1- Objets absents des bibliothèques standards de Revit

Les bibliothèques d'objet de Revit disponibles sur le site *Autodesk Revit content* ne proposent que des objets standards. La particularité architecturale des bâtiments limite l'utilisation des bibliothèques d'objets de Revit. En effet, les modèles des balustrades, des passerelles, de certaines portes et fenêtres des bâtiments C et D sont absents de ces bibliothèques.

II-4-2- Solutions adoptées

Pour résoudre ce problème, nous avons jugé nécessaire de nous faire former pour acquérir des compétences avancées en matière de modélisation.

III- Les résultats obtenus

Les différentes actions réalisées dans le cadre de ce projet ont permis d'aboutir aux résultats suivants :



- élaboration de deux fichiers Revit distincts pour les bâtiments C et D, structurés de manière à faciliter d'éventuelles mises à jour ;
- génération de plans sous format PDF, incluant les vues en plan, les façades et coupes ;
- rédaction d'une documentation technique détaillée pour les bâtiments C et D ;
- stockage des maquettes numériques et des documents techniques essentiels à la gestion des bâtiments sur la plateforme BIMData ;
- production d'un fichier QGIS intégrant le géoréférencement précis des bâtiments C et D ;
- création d'un fichier Lumion dédié à la visualisation immersive et réaliste de l'INPHB.

Les plans ci-dessous illustrent quelques versions des documents PDF générés, mettant en avant les éléments techniques et graphiques développés au cours du projet.

Plan 1 : Plan de cotation du sous-sol du bâtiment D

Plan 2 : Plan de cotation du niveau 0 du bâtiment D

Plan 3 : Plan de cotation du niveau 1 du bâtiment D

Plan 4 : Plan de cotation du niveau 2 du bâtiment D

Plan 5 : Plan de cotation de la toiture du bâtiment D

Plan 6 : Façades Nord et Sud du bâtiment D

Plan 7 : Façades Est et Ouest du bâtiment D

Plan 8 : Coupes A-A ET B-B du bâtiment D

Plan 9 : Vue en perspective du bâtiment D

Plan 10 : Plan de cotation du sous-sol du bâtiment C

Plan 11 : Plan de cotation du niveau 0 du bâtiment C

Plan 12 : Plan de cotation du niveau 1 du bâtiment C

Plan 13 : Plan de cotation du niveau 2 du bâtiment C

Plan 14 : Plan de cotation de la toiture du bâtiment C

Plan 15 : Façades Est et Ouest du bâtiment C

Plan 16 : Façades Nord et Sud du bâtiment C

Plan 17 : Coupes A-A ET B-B du bâtiment C

Plan 18 : Vue en perspective du bâtiment C

Plan 19 : Plan de plomberie des toilettes communes du bâtiment C

Plan 20 : Documentation technique des portes et des fenêtres des bâtiments C et D

Plan 21: Rendus réalistes des bâtiments C et D



CONCLUSION PARTIELLE

L'approche BIM a apporté une réelle valeur ajoutée au projet. La modélisation précise en 3D a permis d'éviter des erreurs et d'améliorer notre collaboration et ainsi de gagner du temps. De plus, les problèmes identifiés ont été résolus grâce à une série de mesures correctives, garantissant ainsi une meilleure cohérence des données et un progrès continu dans l'évolution de la maquette. Le prochain et dernier chapitre présentera des suggestions pour l'utilisation et l'extension du projet.

CHAPITRE 8 : RECOMMANDATIONS POUR L'UTILISATION ET L'EXTENSION DU PROJET

INTRODUCTION

Nous proposons des recommandations pour l'utilisation et l'extension du projet BIM afin de maximiser son efficacité et son impact à long terme. L'intégration d'autres lots techniques, la numérisation des bâtiments voisins et la mise à jour continue de la maquette numérique sont autant de stratégies qui permettront d'optimiser la gestion des infrastructures du campus. Ces actions visent à offrir une gestion centralisée, améliorer la sécurité, et faciliter la prise de décision tout en renforçant la durabilité du projet.

I- Préconisation pour l'utilisation du projet

I-1- Centralisation des données

La numérisation de ces bâtiments permet de regrouper toutes les informations techniques, architecturales et autres dans une base de données communes. Cela facilite :

- la gestion des équipements ;
- la planification des travaux de maintenance ou de rénovation ;
- la visualisation des différents lots.

I-2- Amélioration de la sécurité

En intégrant les plans des bâtiments dans une maquette numérique, il devient possible de :

- identifier rapidement les issues de secours et les zones à risque ;
- planifier des simulations d'évacuation ou des interventions en cas d'urgence ;
- optimiser le système de sécurité incendie.

I-3- Support à la prise de décision

Une vision numérique complète des bâtiments permet à l'administration de :

- prendre conscience des équipements dégradés ;
- évaluer les besoins du campus ;
- prioriser les investissements en fonction des urgences et des contraintes budgétaires.

II- Suggestions pour l'extension du projet

II-1- Ajouts des autres lots techniques

Faute de temps et de ressources, la modélisation des lots techniques des bâtiments C et D n'a pas pu être entièrement réalisée. Pourtant, leur intégration est essentielle pour assurer une gestion complète et optimisée de ces infrastructures. Puisque les lots architecturaux et de plomberie ont été déjà numérisés, nous recommandons aux futures générations qui poursuivront ce projet d'enrichir la maquette numérique en y intégrant des systèmes essentiels, tels que :

- l'électricité ;
- la climatisation et ventilation ;
- les réseaux de communication et de sécurité.

II-2- Numérisation des bâtiments voisins

La numérisation des bâtiments C et D marque le point de départ d'un projet d'envergure visant à modéliser l'ensemble des infrastructures de l'INP-HB. Dans la continuité de cette démarche, il est recommandé d'étendre progressivement la numérisation aux bâtiments avoisinants du campus sud, en priorisant notamment :

- le gymnase ;
- les dortoirs ;
- les restaurants ;
- l'infirmerie ;
- les laboratoires.

II-3- Mise à jour continue du projet

Pour garantir la fiabilité et la pertinence de la maquette numérique BIM dans le temps, il est essentiel d'assurer une mise à jour continue des données. Toute intervention sur un bâtiment, notamment lors de travaux de rénovation, doit être immédiatement répercutée dans la maquette numérique afin de maintenir une correspondance parfaite avec l'état réel du bâti. Ainsi, il est impératif de :

- **Actualiser la maquette BIM**

Toute modification, qu'elle soit structurelle, technique ou architecturale, doit être intégrée avec précision pour préserver la cohérence du modèle numérique.

- **Assurer une traçabilité rigoureuse des modifications**

Chaque mise à jour doit être documentée afin de conserver un historique clair et structuré des interventions dans la plateforme BIMData. L'état des éléments rénovés ou remplacés doit être explicitement mentionné, garantissant ainsi une lecture fiable et exploitable des évolutions du bâtiment.

II-4- Utilisation de scanner 3D

Bien que nous ayons opté pour une modélisation des bâtiments à partir de relevés manuels, il est tout à fait envisageable d'adopter une approche plus avancée pour numériser les bâtiments restants. La solution que nous préconisons repose sur l'utilisation de scanners 3D, une technologie certes coûteuse, mais offrant des avantages considérables (D'après le site officiel de Leica BLK Geosystems, le scanner Leica BLK360 est commercialisé à 27 300 dollars, soit environ 16 000 000 FCFA). L'usage des scanners 3D permet :

- un gain de temps considérable en automatisant le processus de relevé ;
- une réduction des erreurs humaines, garantissant une meilleure fiabilité des données ;
- une précision optimale du modèle, facilitant l'exploitation des données pour la conception et l'analyse ;
- une mise à jour simplifiée des maquettes numériques, assurant un suivi en temps réel des évolutions du bâtiment ;

- l'intégration d'autres technologies avancées, telles que la réalité augmentée et les capteurs IoT (Internet Of thing : dispositif qui permet la surveillance en temps réel des bâtiments).

De plus, certains scanners 3D sont compatibles avec Autodesk ReCap, offrant la possibilité de nettoyer, aligner et optimiser les nuages de points issus des relevés avant leur importation dans des logiciels comme AutoCAD et Revit. Cette technologie constitue ainsi une solution complète pour la création de jumeaux numériques, mais aussi pour la gestion et la maintenance des bâtiments.

CONCLUSION PARTIELLE

L'extension du projet BIM à d'autres lots techniques et la numérisation des bâtiments adjacents constituent une avancée stratégique pour une gestion intégrée et optimisée des infrastructures sur le long terme. De plus, l'actualisation continue de la maquette numérique, notamment par l'apport de technologies avancées telles que le scan 3D, garantit une représentation fidèle et actualisée de l'état des bâtiments. L'ensemble de ces recommandations, conjugué aux travaux déjà réalisés, favorisera une centralisation accrue des données et offrira un appui structuré pour la prise de décision. Cette approche contribuera non seulement à accroître l'efficacité du projet, mais aussi à assurer sa pérennité.



CONCLUSION GÉNÉRALE

L'élaboration d'une maquette numérique BIM des bâtiments C et D de l'INP-HB Sud marque une avancée majeure dans l'intégration du numérique pour la gestion des infrastructures de l'INP-HB. Ce travail avait pour objectif de produire une maquette fonctionnelle et exploitable des lots architecturaux et de plomberie, afin d'optimiser la gestion et l'entretien de ces bâtiments. Grâce à une approche méthodique combinant relevés sur site, vérification des données, modélisation 3D, détection des conflits et intégration à une plateforme BIM, une maquette conforme au LOD 300 a été réalisée. Elle constitue une base fiable pour centraliser les informations techniques et assurer un suivi efficace des bâtiments à long terme. Cependant, ce projet a également mis en lumière certaines contraintes, notamment l'absence et l'incohérence de certaines données, les difficultés d'accès aux infrastructures et la nécessité d'une formation avancée en BIM. Ces défis ont nécessité des ajustements méthodologiques afin de garantir un résultat exploitable. Au-delà de ce cas d'étude, cette initiative ouvre des perspectives plus larges : elle pose les bases d'une généralisation du BIM au sein de l'INP-HB, permettant ainsi une gestion plus intelligente du patrimoine bâti et une modernisation des pratiques académiques et techniques.



BIBLIOGRAPHIE

- Cristia E. (2020), Projet architectural et maquette numérique BIM : Enquête ethnographique au sein d'un grand projet de construction, 282 pages ;
- Santos A. Q. D. (2024), Analyse des avantages et des défis de l'adoption du BIM pour la maîtrise d'ouvrage, 60 pages ;
- Martin, H. (2016), Maquette numérique 3D pour la construction : Visualiser les connaissances métier et interagir avec des dispositifs immersifs, 133 pages;
- INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE Félix HOUPHOUËT-BOIGNY (2019), *Plan Stratégique de l'INP-HB 2020-2024*, 66 pages;
- Boton C. et Kubicki S. (2014), Maturité des pratiques BIM : Dimensions de modélisation, pratiques collaboratives et technologies. Interaction(s) des maquettes numériques, Actes du 6ème Séminaire de Conception Architecturale Numérique, pp 45-56 ;
- Koffi Konan Gaston (2023), Mise en place du processus BIM en Côte d'Ivoire : Étude de cas, 97 pages ;
- Assefsaf Amel Ines (2024), BIM et mission AMO dans les projets de rénovation hôtelière chez HPM : Analyse et optimisations, 86 pages.
- Chelbab Nassima (2019), L'interopérabilité entre la maquette numérique et les dimensions du processus BIM, 72 pages.

WEBOGRAPHIE

- Historique de l'INP-HB, (page consultée le 09 décembre 2024), [En ligne], URL : <https://inphb.ci/portail/historique>
- Institut national polytechnique Félix Houphouët-Boigny — Wikipédia, (page consultée le 09 décembre 2024), [En ligne], URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Institut_national_polytechnique_F%C3%A9lix_Houphou%C3%ABt-Boigny
- 16 avantages de la BIM à connaître, (page consultée le 09 décembre 2024), [En ligne], URL : <https://www.btp-cours.com/16-avantages-de-la-bim-a-connaître/>
- Missions en Côte d'Ivoire pour la Formation Continue | ESTP, (page consultée le 09 décembre 2024), [En ligne], URL : <https://www.estp.fr/missions-en-cote-divoire-pour-la-formation-continue>
- Définition du BIM, (page consultée le 24 décembre 2024), [En ligne], URL : <https://bimbtp.com/pourquoi-le-bim/definition-du-bim/>
- Quels défis relever pour la transition BIM en France ?, (page consultée le 22 décembre 2024), [En ligne], URL : <https://batiadvisor.fr/guides/guide-bim/quels-defis-relever-transition-bim-france/>
- Maquette numérique BIM, (page consultée le 20 décembre 2024), [En ligne], URL : <https://www.newis.ch/maquette-numerique-bim/>
- BIM : Définition et signification, (page consultée le 31 janvier 2025), [En ligne], URL : <https://revizto.com/fr/bim-definition-signification-quest-ce-que-le-bim/>
- Statistiques et ressources - INP-HB, (page consultée le 31 janvier 2025), [En ligne], URL : https://www.inphb.ci/portail/statistiques_et_ressources
- Missions, vision et valeurs - INP-HB, (page consultée le 31 janvier 2025), [En ligne], URL : https://inphb.ci/portail/missions_vision_valeurs
- Écoles de l'INP-HB, (page consultée le 31 janvier 2025), [En ligne], URL : <https://inphb.ci/ecoles>



- Missions en Côte d'Ivoire pour la Formation Continue - ESTP, (page consultée le 1er février 2025), [En ligne], URL : <https://www.estp.fr/missions-en-cote-divoire-pour-la-formation-continue>
- Doc 9674 AN/946—Système géodésique mondial—1984 (WGS-84) Manuel | Sécurité aérienne SKYbrary, (page consultée le 14 mars 2025), [En ligne], URL : <https://skybrary.aero/bookshelf/doc-9674-an946-world-geodetic-system-%E2%80%941984-wgs-84-manual>
- Avant-propos—Documentation QGIS, (page consultée le 14 mars 2025), [En ligne], URL : <https://docs.qgis.org/3.40/fr/docs/about/foreword.html>
- Longitude et latitude — Coordonnées GPS, (page consultée le 29 mars 2025), [En ligne], URL : <https://www.gps-longitude-latitude.net/>
- Yamoussoukro — Wikipédia, (page consultée le 29 mars 2025), [En ligne], URL : <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Yamoussoukro&oldid=222028437>



ANNEXES



ANNEXE 1 : PLANS DE RÉFÉRENCE DES BATIMENTS C ET D



ANNEXE 2 : PLANNING DE TRAVAIL



ANNEXE 2 : GESTION DE LA SALLE BIM



ANNEXE 3 : CONCEPTION DU PLAN DE ZONAGE DU TECHNOPOLE NORD



**ANNEXE 4 : PROPOSITION DE PLANS ARCHITECTURAUX
D'UN COMPLEXE COMPOSE D'UNE VILLA DE HAUT
STANDING ET D'UN IMMEUBLE R+3 A USAGE D'HABITATION**



TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	I
DÉDICACE	II
REMERCIEMENTS	III
AVANT-PROPOS	IV
LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES PLANS.....	VII
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	VIII
RÉSUMÉ	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
PREMIERE PARTIE : VUE D'ENSEMBLE DU PROJET ET APPROCHE BIM ...	4
CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL.....	5
I- PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'INP-HB	5
I-1- Historique	5
I-2- Situation géographique.....	5
I-3- Missions de l'institut	6
I-4- Organisation générale.....	7
II- PRESENTATION DE L'ECOLE SUPERIEURE DES TRAVAUX PUBLICS (ESTP) 8	
II-1- Historique	8
II-2- Emplacement de l'ESTP au sein de l'INPHB	8
II-3- L'ESTP dans le cadre de notre projet de fin d'étude (PFE)	8
II-3-1- La salle BIM	9
II-3-2- L'accès aux plans disponibles et aux salles des bâtiments	10
II-3-3- L'accompagnement d'un expert en BIM	11
CHAPITRE 2 : INTRODUCTION AU BIM ET PRÉSENTATION DU PROJET	12
I- INTRODUCTION AU BIM.....	12
I-1- Définition du BIM et de la maquette numérique BIM	12
I-1-1- Définition du BIM.....	12
I-1-2- Définition de la maquette numérique BIM	13
I-2- Les dimensions du BIM	13
I-2-1- BIM 3D : La base géométrique.....	14
I-2-2- BIM 4D : L'intégration du facteur temps	14



I-2-3- BIM 5D : La maîtrise des coûts	14
I-2-4- BIM 6D : L'optimisation durable	14
I-2-5- BIM 7D : La gestion du cycle de vie	14
I-2-6- BIM XD : L'évolution sans limites.....	14
I-3- Les niveaux de maturité du BIM	15
I-3-1- Niveau de maturité 1 : la modélisation orientée-objet	15
I-3-2- Niveau de maturité 2 : la collaboration orientée-modèle	15
I-3-3- Niveau de maturité 3 : l'intégration orientée-réseau.....	16
I-4- Les niveaux de développement du BIM (LOD)	16
I-5- Avantages et défis BIM	17
I-6- Le BIM en Côte d'Ivoire	18
II- PRESENTATION DU PROJET	20
II-1- Contexte du projet	20
II-2- Localisation du site.....	20
II-3- Étapes principales du projet	21
II-4- Acteurs et rôles.....	21
II-5- Calendrier des tâches.....	23
CHAPITRE 3 : ANALYSE DES DONNÉES ET ÉTUDE PRÉALABLE.....	24
I- PHASE PRÉPARATOIRE.....	24
I-1- Définition des objectifs	24
I-2- Ressources disponibles.....	24
II- ETUDE DU SITE ET CONTRAINTES	25
II-1- Recueil et vérification des données	25
II-1-1- Recueil des données.....	25
II-1-2- Vérification des données	26
II-2- État des lieux des bâtiments	26
II-2-1- Description des bâtiments administratifs.....	26
II-2-2- États des structures et des matériaux	26
II-2-3- Système de plomberie et équipements.....	26
II-2-4- Autres problèmes identifiés	27
DEUXIEME PARTIE : ÉLABORATION ET INTÉGRATION DES ÉLÉMENTS ARCHITECTURAUX ET DE PLOMBERIE AU BIM	28
CHAPITRE 4 : CONCEPTION DES ELEMENTS ARCHITECTURAUX	29
I- Configuration du projet	29
I-1- Création d'un gabarit.....	29
I-2- Réglage des unités de mesure.....	29



I-3- Organisation des niveaux et des grilles	29
I-4- Importation des plans DWG	30
II- Modélisation de structure de base	30
II-1- Modélisation des poutres	30
II-2- Modélisation des poteaux	30
II-3- Modélisation des escaliers	31
II-4- Modélisation des murs	31
II-5- Modélisation des planchers	31
II-6- Modélisation des toitures	32
III- Ouvertures (création des familles de portes et fenêtres)	32
III-1- Création d'une nouvelle famille dans Revit	32
III-2- Définition des paramètres de la famille	32
III-3- Modélisation des éléments de la famille	33
III-4- Application des matériaux	33
III-5- Insertion des familles dans le projet	33
IV- Création des textures et des modèles génériques	34
IV-1- Création et application des textures personnalisées	34
IV-2- Création de modèles génériques	35
CHAPITRE 5 : MODELISATION DES RESEAUX DE PLOMBERIE	37
I- Acquisition des données in situ pour la modélisation des réseaux de plomberie	37
I-1- Mode d'acquisition des informations visuelles	37
I-2- Identification des matériaux des canalisations	38
I-3- Détermination des pentes et des sens d'écoulement des conduites	39
I-4- Détermination des diamètres des conduites	39
II- Modélisation des réseaux d'alimentation en eau froide sanitaire et d'évacuations des eaux pluviales usées et vannes	39
II-1- Configuration du projet	39
II-2- Téléchargement des bibliothèques Revit MEP	40
II-3- Placement des équipements sanitaires dans le modèle	40
II-3-1- Chargement des raccords	40
II-3-2- Configuration des types de canalisations	40
II-3-3- Dessin du réseau de plomberie	41
CHAPITRE 6 : INTEGRATION A LA PLATEFORME BIM	42
I- La plateforme BIM	42
I-1- Définition d'une plateforme BIM	42



I-2- Objectifs de l'intégration à la plateforme BIM	42
II- Gestion des conflits	43
III- Géoréférencement des bâtiments C & D.....	45
IV- Méthodologie de l'intégration des bâtiments C & D	48
IV-1-Création de l'espace projet.....	48
IV-2-Interface projet	49
IV-3-Paramètre de localisation du projet	49
IV-4-Collaboration et partage des données.....	50
IV-4-1- Invitation des collaborateurs	50
IV-4-2- Importation des modèles DWG, IFC, PDF.....	50
IV-4-3- Gestion des problèmes BCF.....	51
IV-4-4- Demande de validation VISA GED	52
IV-5-Visualisation des fiches techniques virtuellement	52
TROISIEME PARTIE : SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS	54
CHAPITRE 7 : ANALYSE CRITIQUE ET RESULTATS OBTENUS	55
I- AVANTAGES DE L'APPROCHE BIM DANS CE PROJET	55
II- Les difficultés rencontrées et les solutions apportées	Erreur ! Signet non défini.
II-1- Gestion des données manquantes	56
II-1-1- Constat des insuffisances dans les plans existants.....	56
II-1-2- Acquisition des données manquantes	57
II-2- Gestion des données incohérentes	57
II-2-1- Incohérences entre les plans existants et la réalité.....	57
II-2-2- Traitement des incohérences relevées	58
II-3- Gestion des contraintes d'accès.....	58
II-3-1- Accès restreint à certains espaces	58
II-3-2- Approches adoptées pour contourner ces contraintes.....	59
II-4- Limites des bibliothèques standards	59
II-4-1- Objets absents des bibliothèques standards de Revit.....	59
II-4-2- Solutions adoptées	59
III- Les résultats obtenus	59
CHAPITRE 8 : RECOMMANDATIONS POUR L'UTILISATION ET L'EXTENSION DU PROJET	83
I- Préconisation pour l'utilisation du projet	83
I-1- Centralisation des données	83
I-2- Amélioration de la sécurité	83



I-3- Support à la prise de décision.....	83
II- Suggestions pour l'extension du projet	84
II-1- Ajouts des autres lots techniques	84
II-2- Numérisation des bâtiments voisins.....	84
II-3- Mise à jour continue du projet.....	85
II-4- Utilisation de scanner 3D	85
CONCLUSION GENERALE.....	87
BIBLIOGRAPHIE	i
WEBOGRAPHIE	ii
ANNEXES	iv
ANNEXE 1 : PLANS DE RÉFÉRENCE DES BATIMENTS C ET D.....	v
ANNEXE 2 : PLANNING DE TRAVAIL	vi
ANNEXE 2 : GESTION DE LA SALLE BIM.....	vii
ANNEXE 3 : CONCEPTION DU PLAN DE ZONAGE DU TECHNOPOLE NORD.....	viii
ANNEXE 4 : PROPOSITION DE PLANS ARCHITECTURAUX D'UN COMPLEXE COMPOSE D'UNE VILLA DE HAUT STANDING ET D'UN IMMEUBLE R+3 A USAGE D'HABITATION.....	ix
TABLE DES MATIERES.....	x