

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE  
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

RAPPORT DE PROJET PRÉSENTÉ À  
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE  
À L'OBTENTION DE LA  
MAITRISE EN GÉNIE, CONCENTRATION  
TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION

PAR  
Johann DAVID

EXPÉRIMENTATION D'UNE INTERFACE DE VISUALISATION 3D POUR LE  
PROJET BIMWeb

MONTRÉAL, LE 26 AOÛT 2015



Johann David



Cette licence [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) signifie qu'il est permis de diffuser, d'imprimer ou de sauvegarder sur un autre support une partie ou la totalité de cette œuvre à condition de mentionner l'auteur, que ces utilisations soient faites à des fins non commerciales et que le contenu de l'œuvre n'ait pas été modifié.

**PRÉSENTATION DU JURY**

CE RAPPORT DE PROJET A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Alain April, directeur de projet  
Département de génie logiciel et des TI à l'École de technologie supérieure

M. Abdelaoued Gherbi, président du jury  
Département de Génie Logiciel et TI à l'École de technologie supérieure



## **REMERCIEMENTS**

Je tiens à adresser mes remerciements à mon directeur de projet, M. Alain APRIL, pour sa patience et bienveillance, qui m'a permis de mener à bien ce projet.

Je tiens aussi à remercier M. Mathieu DUPUIS, pour son aide sur la réalisation de mon projet, et pour avoir considéré mon travail comme une réalisation personnelle plutôt que comme une partie de son projet.

J'aimerais aussi remercier mes proches, notamment M. David RION, M. André-Bernard GUÉVIN, M. Carol CLÉMENT, ainsi que ma famille, pour leur soutien inconditionnel tout au long de ce projet de Maitrise.



# **EXPÉRIMENTATION D'UNE INTERFACE DE VISUALISATION 3D POUR LE PROJET BIMWEB**

Johann DAVID

## **RÉSUMÉ**

Ce rapport présente le travail effectué sur la conception d'un module d'interface de visualisation 3D, qui complète le projet BIMWeb.

Ce projet, en développement à l'ÉTS, vise la conception d'une plateforme web collaborative appliquée à la gestion de projets du domaine de la construction. Cette plateforme répondra aux besoins d'échanges de données des projets de construction en utilisant l'approche de modélisation des informations dédiées aux bâtiments, BIM et principalement en permettant aux utilisateurs d'utiliser le plan, en 3D, de la bâtisse pour partager de l'information.

L'objectif de ce projet appliqué de maîtrise est de concevoir une interface utilisateur de visualisation des bâtiments 3D pour BIMWeb. Ce prototype, produit à l'aide du moteur de développement Unity, très populaires dans les jeux vidéo, permettra d'explorer les difficultés associées à la manipulation des maquettes de bâtiments de projets de construction extraites du logiciel Revit.

Pour développer cette interface, une veille technologique et une étude des besoins utilisateurs ont été effectuées, permettant d'explorer les limites de Unity et du langage Mono, et de définir les fonctionnalités à implémenter. Ce projet a été géré selon une approche Agile, à l'aide d'itérations successives comportant des Étapes d'expérimentation et de formation afin d'acquérir les connaissances nécessaires pour développer une version du prototype logiciel à chaque itération. À l'aide des compétences acquises durant la première partie du projet, un second prototype d'interface a été développé. Ce questionnaire collecte des données, afin de générer des probabilités de la présence de matériaux dans une construction.



# **EXPERIMENTATION OF A 3D VISUALIZATION INTERFACE FOR THE BIMWEB PROJECT**

Johann DAVID

## **ABSTRACT**

This report presents the applied research done on the design of a 3D visualization interface module for the BIMWeb project.

BIMWeb, is currently under development at ÉTS University and aims at designing a collaborative platform, on the cloud, for sharing construction project management 3D plans. This cloud based collaborative platform will allow collaborative 3D data sharing from a building information management (BIM) extracted file. Mainly, it will allow users to work collaboratively on the 3D plans of the building for all kinds of purposes, for exemple: track progress, identify snags, plan work and calculate life-cycle costs.

The objective of this applied research project, part of a master degree, aims at exploring the limits associated with the use of Unity, a popular video game platform, for the collaborative user interface of BIMWeb. This first prototype, produced using Unity, explores the challenges associated with navigating in construction project 3D models, exported from Revit, and imported into Unity. It discovered quickly the limits of Unity's standard functionality provided in its store.

To develop the prototypes, a technology review and a user requirements activity were initially conducted to define precisely the user interface features to be prototyped. The project was conducted using an Agile approach with successive iterations composed of presentations, explorations and training in order to acquire the knowledge necessary to develop each new versions of the prototype. Using the knowledge acquired during the first part of the project, a second interface prototype was developed. This questionnaire user interface is used for data collection, using Unity, in order to generate probabilities of the presence of specific materials in a different construction types.



## TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE 1 Contexte.....	3
1.1 Problématique du domaine de la construction .....	3
1.1.1 Problématique du domaine de la construction en général .....	3
1.2 Problématique .....	4
1.2.1 Contexte .....	4
1.2.2 Besoins dans les projets de construction.....	4
1.3 But du projet .....	5
1.3.1 Projet BIMWEB.....	5
1.3.2 Analyse des besoins liés à l'interface de visualisation 3D .....	5
1.4 Mission.....	6
1.4.1 Description de la problématique .....	6
1.4.2 Description de la mission.....	6
1.5 Conclusion .....	6
CHAPITRE 2 Mise en situation .....	9
2.1 Collaborateur du projet BIMWeb .....	9
2.2 Compréhension de la mission .....	9
2.3 Profils des acteurs de projets de construction .....	9
2.4 Besoins utilisateurs .....	10
2.5 Définition des objectifs techniques .....	10
2.6 Technologies liées au projet.....	11
2.6.1 Veille technologique .....	11
2.6.2 Description de la technologie Unity .....	13
2.6.3 Mise à niveau technologique .....	13
2.6.4 Exigences et contraintes de la technologie Unity .....	15
2.7 Conclusion .....	16
CHAPITRE 3 Conception.....	17
3.1 Méthodologie .....	17
3.2 Évolution des besoins .....	18
3.3 Architecture logicielle.....	19
3.4 Conception de l'environnement.....	20
3.5 Conception de l'interface utilisateur.....	23
3.6 Découpage et spécification des tâches .....	26
3.7 Conclusion .....	28
CHAPITRE 4 Développement.....	31
4.1 Frise des réalisations .....	31
4.2 Installation de l'environnement de travail .....	31

4.3	Itérations Agile.....	32
4.4	Fonctionnalités développées .....	32
4.4.1	Prise en main du moteur Unity .....	32
4.4.2	Tests de chargement de fichier .....	33
4.4.3	Environnement 3D.....	33
4.4.4	Création de l'interface.....	35
4.4.5	Chargement en cours d'exécution et sélection d'un élément.....	39
4.4.6	Composants de l'interface.....	41
4.4.7	Interface de visualisation 3D .....	42
4.4.8	Création du questionnaire .....	46
4.4.9	Interface du questionnaire.....	48
4.5	Conclusion .....	52
CHAPITRE 5 Discussion .....		55
5.1	Apprentissage.....	55
5.2	Tâches techniques réalisées .....	56
5.3	Difficultés rencontrées .....	59
5.4	Axes d'amélioration.....	61
5.5	Conclusion .....	63
CONCLUSION.....		65
ANNEXE I Cycle de vie de Unity .....		67
ANNEXE II Planification du visualisateur 3D web .....		69
ANNEXE III Frise chronologique de la phase de développement .....		71
ANNEXE IV Résultats complets des tests de chargement de fichiers .....		73
ANNEXE V Base de données du questionnaire .....		75
BIBLIOGRAPHIE.....		78

## LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 2.1 - Parties prenantes du projet BIMWeb.....	9
Tableau 2.2 - Profils d'utilisateurs de l'interface de visualisation 3D.....	10
Tableau 2.3 - Objectifs techniques du projet .....	11
Tableau 2.4 - Logiciels de modélisation dans le domaine du bâtiment .....	12
Tableau 2.5 - Fonctionnalités d'intérêt extrait de l'analyse des logiciels de modélisation.....	12
Tableau 2.6 - Sites d'apprentissage utilisé pour l'apprentissage de Unity .....	14
Tableau 2.7 - Compétences Unity acquises durant la mise à niveau .....	14
Tableau 3.1 - Traduction des besoins utilisateurs en fonctionnalités d'environnement 3D.....	20
Tableau 3.2 - Traduction des besoins utilisateurs en fonctionnalités d'interface.....	23
Tableau 3.3 - Traduction des fonctionnalités en éléments d'interface .....	24
Tableau 3.4 - Découpage des tâches techniques .....	26
Tableau 4.1 - Résultats des tests de chargement de fichiers .....	33
Tableau 4.2 - Commentaires de l'interface et les éléments concernés .....	37
Tableau 5.2 – Tâches techniques réalisées .....	56
Tableau 5.1 - Difficultés rencontrées durant la phase de développement .....	59



## LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 3.1 - Fonctionnement agile du projet d'interface de visualisation 3D .....	17
Figure 3.2 - Diagramme fonctionnel du MVC (Maneu, 2007).....	19
Figure 3.3 - Exemple de luminosité et de déplacement caméra dans un environnement 3D ..	21
Figure 3.4 - Représentation du champ de vision.....	22
Figure 3.5 - Prototype de l'interface contenant les éléments d'interface.....	24
Figure 3.6 - Prototype de l'interface du questionnaire .....	25
Figure 4.1 - Évolution de la phase de développement de l'environnement 3D.....	35
Figure 4.2 - Interface de test des relations éléments graphiques et fonctionnalités.....	36
Figure 4.3 - Exemple d'interface proposée durant la phase de développement .....	37
Figure 4.4 - Interface sélectionnée.....	39
Figure 4.5 - Interface de visualisation 3D.....	42
Figure 4.6 - Coin supérieur gauche.....	43
Figure 4.7 - Case à cocher supérieur gauche .....	43
Figure 4.8 - Interface avec coin supérieur gauche caché .....	43
Figure 4.9 - Coin supérieur droit.....	44
Figure 4.10 - Coin inférieur gauche.....	44
Figure 4.11 - Coin inférieur droit.....	44
Figure 4.12 - Interface avec éléments masqués .....	45
Figure 4.13 - Étape de la création de l'interface du questionnaire .....	47
Figure 4.14 - Interface du questionnaire.....	49
Figure 4.15 - Question du questionnaire.....	49
Figure 4.16 - Réponses du questionnaire.....	49

Figure 4.17 - Niveau de confiance du questionnaire .....	50
Figure 4.18 - Boutons du questionnaire .....	50
Figure 4.19 - Tableau statistique des utilisateurs du questionnaire .....	51
Figure 4.20 - Interface d'une autre question du questionnaire .....	51

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES**

2D : Deux Dimensions

3D : Trois Dimensions

BIM : Building Information Modeling

IDE : Integrated Development Environment

MVC : Modèle-Vue-Contrôleur



## INTRODUCTION

Le domaine de la construction est vaste et multidisciplinaire. Sa taille a permis à de nombreuses entreprises de fournir des logiciels comblant des besoins spécifiques, et plus particulièrement dans la modélisation des bâtiments en trois dimensions (Wikipedia, [s.d.] #6).

Mais cette floraison de possibilités amène aussi son lot de problèmes de compatibilités et de lecture de données. En effet, chaque corps de métier possède sa propre vision du bâtiment, suivant ses besoins, entraînant la création d'un plan de construction pour chacun (Perreault-Labelle, 2012).

Un des enjeux fondamentaux du domaine de la construction réside ainsi dans le rassemblement et la modélisation des données afin que les parties prenantes des projets de la construction puissent travailler sur une plateforme commune.

L'École de Technologie Supérieure, a vu ici une opportunité de créer un moyen permettant aux professionnels de la construction d'accéder aux données relatives à leur projet où qu'ils soient. Elle a donc entrepris de créer une plateforme web, BIMWeb (April, [s.d.] #2), commune aux différents corps de métier du domaine de la construction, permettant d'accueillir et de gérer différents projets.

L'analyse de ces besoins a conduit à une conception et un développement de la plateforme web, segmenté comme suit :

- Base de données commune regroupant l'ensemble des données des projets de construction.
- Interface de gestion des projets.
- Environnement de visualisation en 3D des maquettes de bâtiments.
- Sécurisation des données et des sessions utilisateurs

Ce projet consiste à concevoir et développer la partie visualisation des projets, des modélisations en 3D des bâtiments à construire ou rénover.

# CHAPITRE 1

## Contexte

### 1.1 Problématique du domaine de la construction

#### 1.1.1 Problématique du domaine de la construction en général

Le domaine de la construction est un secteur d'activité économique très important, que ce soit du point de vue de l'investissement, des revenus ou des emplois. On compte environ 255 600 emplois générés chaque mois, et un investissement total de 45,4 milliards de dollars en 2014 au Québec (CCQ, [s.d.]).

Les professions des intervenants dans le domaine de la construction sont très variées. On y retrouve aussi bien des architectes que des entrepreneurs, des fournisseurs, de la main d'œuvre, des électriciens, des plombiers, ou encore des ingénieurs, etc. Les réalisations varient aussi selon différentes catégories, tel un quartier d'habitations, un immeuble de bureaux ou encore des stationnements ou des rénovations de bâtiments (CCA-AAC, [s.d.]).

Cette diversité peut engendrer des difficultés pour contenter tout le monde et pour que tous puissent se comprendre. Des documents spécifiques pour chaque corps de métier nécessitent d'être produits pour répondre aux différents besoins et tâches. L'organisation du travail est donc organisée en silo. Toutes les professions peuvent travailler sur un même aspect de la construction, mais avec ses codes attitrés.

## **1.2 Problématique**

### **1.2.1 Contexte**

Il est difficile aujourd'hui de regrouper les données de gestion des bâtiments lors de leur conception telle que les modélisations en 3D, les planifications de construction et des acteurs du projet, la mise en commun des listes de matériaux et des documents de spécification du projet. L'accessibilité à ces informations d'une manière simultanée au sein des locaux de l'entreprise et sur les chantiers de construction représente une problématique significative.

Créer une plateforme collaborative de gestion de projet, pour les entreprises de construction, en utilisant les plans 3D issus de l'utilisation de la technologie BIM est une avenue intéressante (Wikipedia, [s.d.] #1) (Autodesk, [s.d.] #2) (CDC, [s.d.]). La technologie de modélisation intelligente de bâtiments BIM, consiste à intégrer toutes ces informations et même les calculs d'impacts environnementaux et même des relevés topographiques.

### **1.2.2 Besoins dans les projets de construction**

Demander à un maître de chantier d'aller se connecter à son ordinateur, de télécharger la dernière version du plan et de lancer le logiciel de modélisation pour pouvoir le lire et trouver les éléments qui l'intéresse, est une tâche assez prenante et qui demande de connaître et maîtriser le logiciel en question. Il en va de même si on demande de chercher des informations concernant les échéanciers et la liste des matériaux pour chaque zone. De plus, différentes professions ont parfois besoin d'accéder à ces informations, et leurs objectifs les concernant ne sont pas forcément les mêmes.

En partant de ces constats, l'École de Technologie Supérieure s'intéresse à la problématique de mettre en place une plateforme de gestion de projets de construction en ligne, basée sur la technologie BIM. Cette plateforme logicielle autoriserait les membres d'un même projet à visualiser les maquettes des bâtiments, consulter les agendas, les listes de matériaux, ou la

topographie du terrain, selon les besoins de l'utilisateur, et permettant aux gestionnaires de mettre en ligne et à jour ces informations rapidement.

### **1.3 But du projet**

#### **1.3.1 Projet BIMWEB**

Cette plateforme web, appelée BIMWeb, contient plusieurs parties :

- une interface web de gestion des projets,
- un serveur avec base de données,
- une interface de visualisation en 3D

La réalisation de cette plateforme, représentant un travail considérable, débute par la réalisation d'une partie de l'interface de visualisation 3D.

La mission principale de ce projet appliqué de maîtrise de quinze crédits est de concevoir un logiciel de visualisation 3D pouvant charger des documents ou des informations provenant d'une base de données BIM, et les afficher dans une interface utilisateur 3D pour les exploiter. Les aspects base de données et serveur, de ce logiciel de visualisation, étaient déjà développés et accessibles au démarrage de ce projet de recherche.

#### **1.3.2 Analyse des besoins liés à l'interface de visualisation 3D**

Afin de mener à bien ce projet, les besoins fonctionnels de l'interface utilisateur 3D à mettre en place ont été révisés. L'objectif est de concevoir une interface utilisateur 3D dans lequel l'utilisateur peut naviguer afin de visiter un bâtiment. Ce plan de bâtiment provient du fichier généré par REVIT, le logiciel de modélisation BIM le plus utilisé en Amérique du Nord (Wikipedia, [s.d.] #8), et sera chargé dans l'interface de visualisation 3D qui sera conçue et développée dans ce projet de recherche. L'interface utilisateur requise offrira la possibilité de l'explorer dans un environnement 3D et de visualiser des informations détaillées sur différentes

parties du bâtiment. De là, l'utilisateur peut parcourir le bâtiment, modifier l'affichage pour mieux visualiser une zone, ou afficher les informations d'un objet en particulier.

## **1.4 Mission**

### **1.4.1 Description de la problématique**

La problématique liée à ce projet de recherche appliquée est la suivante : comment créer une interface utilisateur de visualisation 3D qui répond aux besoins de différentes professions du domaine de la construction (cf. section 2.3 – Profils des acteurs de projets de construction), acteurs du même projet ?

### **1.4.2 Description de la mission**

La mission consiste donc, en utilisant le logiciel de modélisation 3D Unity, à développer un visualisateur 3D accueillant une modélisation en 3D d'un bâtiment existant, afin de permettre à l'utilisateur de se déplacer et d'interagir facilement avec les composants détaillés du bâtiment. L'interface web visée doit être ergonomique et compréhensible par les différents acteurs d'un projet de construction.

## **1.5 Conclusion**

Le début d'un projet passe d'abord par la compréhension du contexte et du but de celui-ci. La découverte d'un nouveau milieu a contraint à se renseigner sur le domaine de la construction, afin de comprendre le contexte et saisir les besoins. Actuellement, le monde de la construction connaît une problématique du travail collaboratif dans la gestion des documents liés aux projets.

L'objectif du projet BIMWeb est de répondre à ce problème, en utilisant ce projet comme fenêtre sur les données. En effet, la conception d'une interface de visualisation d'un environnement 3D, associée à une gestion de données de projets, permettrait de répondre à cette problématique.

L'étape suivante va définir le cadre du projet, les besoins utilisateurs et les technologies à intégrer, dans le but de fixer les objectifs techniques et de se former en conséquence. Cette phase du projet minimise les erreurs lors de la définition des objectifs et permet de produire un projet qui satisfera les différentes parties prenantes.



## CHAPITRE 2

### Mise en situation

#### 2.1 Collaborateur du projet BIMWeb

Les parties prenantes du projet BIMWeb qui ont collaboré à ce projet sont explicitées comme suit :

Tableau 2.1 - Parties prenantes du projet BIMWeb

Nom de la partie prenante	Rôle
Professeur Alain APRIL	Professeur au Département de génie logiciel et des TI de l'École de Technologie Supérieure, Responsable du projet BIMWeb. (April, [s.d.] #1)
M. Mathieu DUPUIS	Étudiant au Doctorat en génie Logiciel à l'École de Technologie Supérieure, concepteur du projet BIMWeb. Il agit à titre de représentant utilisateur.

#### 2.2 Compréhension de la mission

Afin de bien comprendre et approprier la mission du projet, les questions suivantes ont été investiguées:

- Quels sont les besoins du projet ?
- Quelles sont les attentes du représentant utilisateur ?
- Quelles sont les attentes des acteurs des projets de construction ?

#### 2.3 Profils des acteurs de projets de construction

Descriptions des différents profils d'acteurs :

Tableau 2.2 - Profils d'utilisateurs de l'interface de visualisation 3D

<b>Métiers</b>	<b>Profil d'utilisateur de l'interface de visualisation 3D</b>
Chefs de chantier (Wikipedia, [s.d.] #2)	Consulte le modèle.
Ingénieurs (Wikipedia, [s.d.] #5) (Metier-quebec, [s.d.]) / Architectes (Wikipedia, [s.d.] #3)	Conçoit la modélisation 3D et le consulte.
Électriciens / Plombiers	Recherche une vision spécifique du bâtiment (câbles et conduits).

## 2.4 Besoins utilisateurs

Les premières itérations du projet ont permis de recueillir les besoins utilisateurs relatifs à l'interface de visualisation 3D, à savoir :

- Charger une maquette modélisée en 3D dans l'interface.
- Se déplacer dans l'environnement 3D afin de visiter la maquette.
- Visiter la maquette 3D par étage du bâtiment modélisé dans la maquette.
- Afficher une interface pour visualiser les données de l'environnement.
- Gérer les paramètres de l'environnement 3D.
- Sélectionner des éléments de la maquette.
- Afficher les détails des éléments sélectionnés dans l'interface.
- Activer/désactiver l'interface.

## 2.5 Définition des objectifs techniques

En étudiant la problématique (cf. section 1.2), les différents acteurs (cf. section 2.3) et leur besoins (cf. section 2.4), il a été possible de préciser les objectifs, qui sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 2.3 - Objectifs techniques du projet

<b>Mission</b>	<b>Description</b>
Trouver un logiciel 3D	Trouver un logiciel permettant de créer un environnement 3D.
Créer un milieu 3D	Créer un environnement 3D dans lequel importer une maquette de bâtiment modélisée en 3D.
Importer les maquettes	Si nécessaire, trouver un moyen d'importer les modélisations sous différents formats de fichier.
Mise en ligne	Trouver un moyen d'exporter l'interface de visualisation sur le web.
Navigation	Créer des moyens de navigation dans l'environnement 3D afin d'explorer des maquettes modélisées, adaptés aux différents profils d'acteurs de projets de construction.
Créer une interface	Concevoir une interface qui implémente toutes les fonctionnalités dont les acteurs des projets de construction ont besoin (cf. section 2.4).
Créer des outils d'interfaçage	Si nécessaire, créer les outils manquants à la création de l'interface à destination des acteurs des projets de construction.
Respecter les contraintes techniques	Prendre en compte les contraintes de temps, de tailles de fichier, d'extensions de fichier, de vitesse de chargement, d'images par seconde, etc.

## **2.6 Technologies liées au projet**

### **2.6.1 Veille technologique**

En prenant en compte des différents objectifs techniques fixés précédemment, une veille technologique sur les domaines suivants a été réalisée:

- **Logiciels de modélisation dans le domaine du bâtiment**

Tableau 2.4 - Logiciels de modélisation dans le domaine du bâtiment

Logiciels	Description
AutoDesk Revit (Autodesk, [s.d.] #1)	Logiciel de modélisation 3D professionnel orienté architecture.
Qcad (Qcad, [s.d.] #2)	Logiciel de modélisation 2D libre orienté architecture.
FreeCAD (FreeCAD, [s.d.] #3) (Wikipedia, [s.d.] #4)	Logiciel de modélisation 3D libre orienté génie mécanique.

Des tests ont été effectués sur ces différents logiciels. Les différentes fonctionnalités d'intérêt ont été étudiées afin d'inspirer la conception de l'interface de visualisation 3D :

Tableau 2.5 - Fonctionnalités d'intérêt extrait de l'analyse des logiciels de modélisation

Fonctionnalités d'intérêt	Analyse
Contrôles utilisateur	Connaître les contrôles clavier courant des utilisateurs.
Fonctions	Connaître les différentes fonctions mises à disposition par les logiciels de modélisations 3D.
Déplacement	Imiter les modes de déplacement.
Réglage de la luminosité	Comparer les niveaux de luminosités et les types d'éclairages utilisés pour la navigation dans un environnement 3D.
Réglage de la vitesse	Comparer les vitesses de déplacement, accélération et rotation de la navigation.
Interface	Connaître l'interface affichée durant la navigation dans un environnement 3D.
L'aide aux utilisateurs	Connaître les différents moyens d'aide à l'utilisation apportés par ces logiciels.

### - Logiciel de création de l'environnement 3D

La technologie Unity a été choisie, au début du projet, pour développer l'interface utilisateur 3D du projet BIMWeb. Une veille a été effectuée afin de confirmer ce choix technologique.

### **2.6.2 Description de la technologie Unity**

Unity est actuellement l'un des moteurs de développement de jeu multiplateforme le plus répandu de l'industrie du jeu vidéo (Unity3D, [s.d.] #2) (Wikipedia, [s.d.] #10) Il propose une licence gratuite pour uniquement l'utilisation de son moteur. Ce logiciel permet de construire et importer des modèles dans un environnement 2D ou 3D, de les animer et de les faire interagir. Il a la particularité de pouvoir modifier des paramètres du jeu durant son exécution dans le moteur de développement. Il ne possède pas son propre environnement de développement, mais est compatible avec un éditeur de script Mono (langage proche du C#), UnityScript (langage proche du JavaScript) et Boo. Il propose un « Asset Store » (Unity3D, [s.d.] #1) où l'on peut trouver les créations d'autres personnes et proposer ses propres contributions.

Toutefois, le moteur de Unity ne possède pas beaucoup d'outils de création d'interfaces nativement, et la création d'une interface 2D dans un environnement 3D est complexe et doit se faire manuellement, via du code. Une étape de développement du projet sera donc allouée pour effectuer cette tâche.

### **2.6.3 Mise à niveau technologique**

La plateforme logicielle 3D Unity est une technologie récente et complexe. S'agissant du premier contact avec un logiciel dédié à la modélisation 3D, une formation en ligne et de a dû être réalisée, de manière autonome, pour en comprendre les principes fondamentaux et son fonctionnement.

Tableau 2.6 - Sites d'apprentissage utilisé pour l'apprentissage de Unity

Site d'apprentissage	Description
Unity3D.com (Unity3D, [s.d.] #2)	Site officiel de Unity
Developez.com (developez.com, [s.d.])	Site de tutoriels et forum de développeurs
Gamedev.net (gamedev.net, [s.d.])	Site de tutoriels et forum sur les jeux vidéo
Wiki.Unity3D.com (wiki.unity3D.com, [s.d.])	Wiki officiel de Unity
Openclassrooms.com (openclassrooms.com, [s.d.])	Site de cours en ligne
Stackoverflow.com (stackoverflow.com, [s.d.])	Forum pour développeurs

Ces sites d'apprentissage ont permis de comprendre les rouages de la technologie Unity, à savoir :

Tableau 2.7 - Compétences Unity acquises durant la mise à niveau

Fonctionnalités	Description
Utilisation de l'interface du logiciel	Apprendre à utiliser les différentes fonctions de Unity, le but de chaque fenêtre de l'interface
IDE	Fonctionnement proche d'un IDE sans fenêtre de développement intégrée.
Scènes	Création un environnement 2D ou 3D spécifique, appelé scène, et son fonctionnement.
Mono	Apprentissage du langage de développement Mono, très proche du C#.
Scripts	Compréhension du fonctionnement des scripts en Mono.
Boucle de jeu	Compréhension du fonctionnement de la boucle de jeu de Unity, comment sont liés l'environnement 3D et le code.
Chargement de fichiers	Découverte et compréhension de code en Mono de chargement de fichiers dans Unity.

Une autre technologie de ce projet de recherche est Mono. C'est une technologie semblable à C#, côtoyée durant le cycle scolaire, mais jamais appliquée à un projet. Après avoir suivi des tutoriels expliquant les outils de Unity, des tests ont été effectués, avec des exemples de programmes trouvés sur internet ou en créant des scènes 3D expérimentales en laboratoire.

#### **2.6.4 Exigences et contraintes de la technologie Unity**

Lors de la phase d'apprentissage de Unity, beaucoup de tests ont dû être faits sur les notions les plus complexes de cette technologie. En voici trois exemples :

Boucle de jeu :

Pour pouvoir coder certaines fonctionnalités, il est nécessaire d'abord de comprendre le fonctionnement du cycle de vie de Unity. Il est donc important de connaître les éléments déclencheurs de la boucle de jeu, afin de savoir comment exécuter les fonctions et à quel moment elles entrent dans cette boucle de traitement.

Le cycle de vie de Unity fonctionne suivant un processus illustré à la figure-A I-1 – Cycle de vie de Unity, en Annexe I.

Liaison des objets dans Unity :

La boucle de vie de Unity étant indépendante, il est nécessaire de comprendre comment les différents éléments incorporés dans le code source pouvaient interagir entre eux, avec les éléments existants, ou l'environnement 3D.

Mathématiques :

Opérant dans un environnement 3D, il a fallu travailler la géométrie dans l'espace afin de pouvoir appliquer des notions de mathématiques complexes dans l'environnement de modélisation 3D de Unity.

## 2.7 Conclusion

Cette phase de mise en situation a permis de comprendre le contexte du projet BIMWeb, à savoir les acteurs qui vont influencer ce projet. Elle a aussi étayé la compréhension de la mission de ce projet, qui est de déterminer les utilisateurs de cette interface, acteurs de la gestion de projets de construction, et donc quels sont leurs besoins.

Ces besoins concernent aussi bien l'interface du logiciel, comme afficher des informations du logiciel ou du modèle 3D, que de ses fonctionnalités : modes de déplacement, sélection d'éléments du modèle 3D, etc. Pour y répondre au mieux, des objectifs techniques sont définis, et une veille technologique est exécutée. Cette dernière a permis de découvrir le fonctionnement des logiciels de modélisation 3D, Revit et FreeCad, ainsi que de se mettre à niveau sur les technologies, Unity et Mono, à appliquer dans ce projet.

La prochaine phase est celle de conception. Elle va définir comment construire la solution, que ce soit la méthode du travail ou la conception du logiciel. Le but est de découper les objectifs techniques définis dans ce chapitre en tâches simples.

## CHAPITRE 3

### Conception

#### 3.1 Méthodologie

La création et l'évolution de l'interface utilisateur avaient déjà été planifiées avant le début de ce projet de recherche. L'idée principale de cette étape était de conserver la fiche de route existante comme base de la planification et de combler les lacunes, de Unity, en conséquence. La priorité était de répondre aux demandes concernant l'interface à concevoir et développer, comme indiqué sur la figure-A II-1 – Planification du visualisateur 3D web, disponible en Annexe II.

Ce projet fonctionne en cycle de développement Agile similaire à un SCRUM (Wikipedia, [s.d.] #9) : révision des besoins, définition des objectifs, mise à niveau si besoin, développement, tests et présentation du résultat.

Le cycle de développement du projet a été défini comme suit :

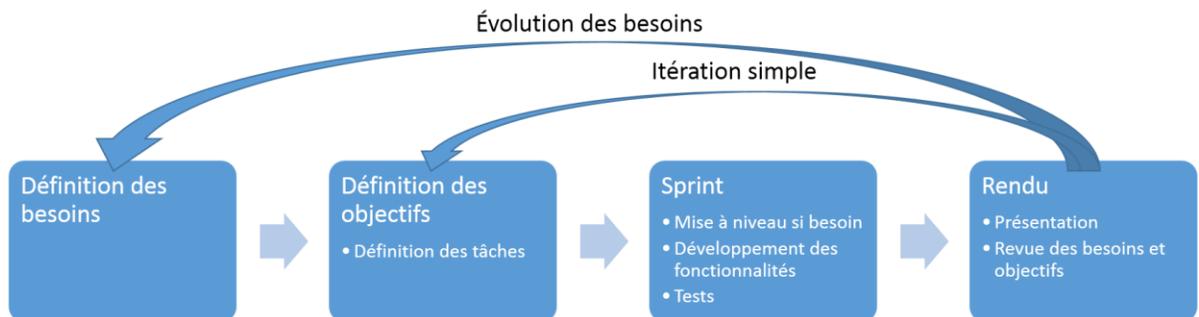


Figure 3.1 - Fonctionnement agile du projet d'interface de visualisation 3D

### **3.2 Évolution des besoins**

Le logiciel a été réalisé en plusieurs itérations : les demandes sont considérées en début de cycle, puis une formation additionnelle était faite sur les points demandés (car les connaissances étaient souvent insuffisantes pour répondre aux demandes), des tests étaient effectués, et une démonstration du résultat s'ensuivait. Après présentation d'une itération du prototype, les besoins évoluaient, des demandes sont faites, et une autre itération commence.

À plusieurs moments de l'avancement du projet, les attentes et les objectifs du représentant utilisateur ont évolué, car le projet BIMWeb est au tout début de sa conception. À différentes étapes, certaines fonctionnalités sont devenues plus intéressantes à implémenter avant celles planifiées. Ces fonctionnalités seront abordées dans le chapitre 4 – Développement de ce rapport. Les parties prenantes se sont entendues sur les modifications à mettre en place, et ont adapté les tâches à accomplir pour l'itération suivante. Les moyens d'arriver au résultat souhaité sont ensuite discutés, les avis sont partagés sur le développement du prochain module, et une décision est prise sur la démarche à suivre.

Au fil du temps, et en considérant l'avancement du projet, l'objectif final a été reconsidéré. En effet, des bogues ont ralenti le déroulement du projet, et certaines fonctionnalités importantes ont pris plus de temps de développement que prévu, empiétant sur les autres tâches planifiées. Il a donc fallu reconsidérer le rendu final du projet, afin de contenter les espérances du représentant utilisateur et du projet de maîtrise. Le représentant utilisateur a donc proposé de créer l'interface dans un environnement 3D d'une autre partie de son projet, un questionnaire sur le thème de la construction. Cette solution a permis d'utiliser les compétences acquises durant ce projet de maîtrise tout en rendant un produit fini et satisfaisant les besoins.

### 3.3 Architecture logicielle

La compréhension du cycle de vie de Unity est la base de l'architecture du logiciel développé durant ce projet. Cette boucle de jeu contient les éléments déclencheurs qu'a un utilisateur avec le programme.

Les scripts de ce projet sont donc construits généralement pour réagir aux évènements de la boucle de jeu, à savoir un mouvement de la souris, la pression d'une touche du clavier, le clic de la souris sur un bouton de l'interface, ou encore une certaine période d'inactivité de l'utilisateur. La première phase de conception est donc de trouver et d'associer les évènements déclencheurs et les fonctionnalités à appeler.

Ensuite, toutes les données et autres fonctionnalités sont construites sous le format MVC (Wikipedia, [s.d.] #7). Un contrôleur s'occupe de créer les données, et de les transmettre à la vue. La vue peut être une des fonctions déclenchées par les éléments de l'interface, ou bien une fonction qui complète l'interface, comme par exemple afficher un élément de texte qui n'a aucun élément déclencheur.

Le diagramme suivant modélise le fonctionnement de l'architecture MVC :

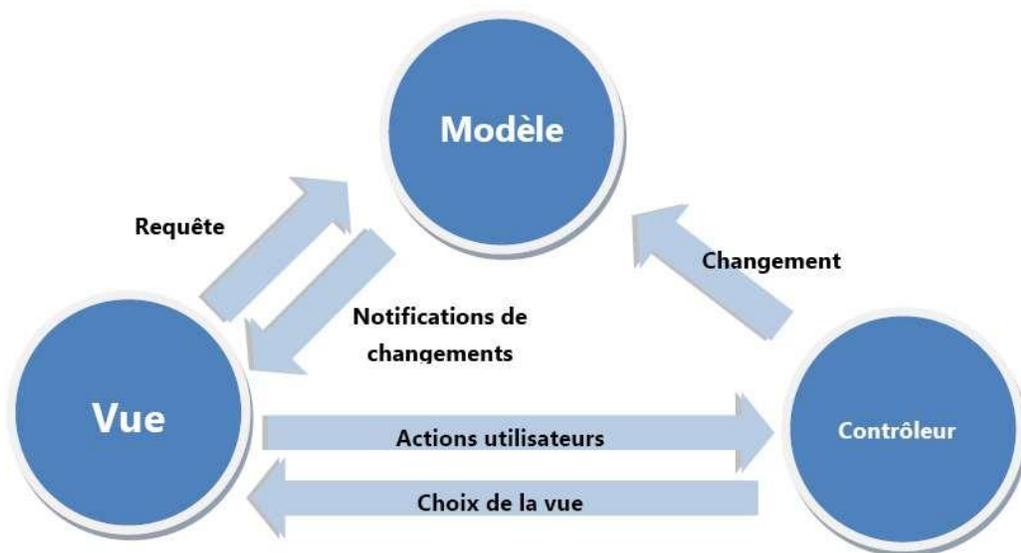


Figure 3.2 - Diagramme fonctionnel du MVC (Maneu, 2007)

### 3.4 Conception de l'environnement

Lors de la première étape du projet, l'objectif était d'utiliser l'environnement 3D de Unity, et de travailler avec sa fonctionnalité de navigation dans des objets 3D. Les besoins utilisateurs liés à l'environnement 3D ont été étudiés puis traduits en fonctionnalités à développer (voir tableau 3.1 ci-dessous).

Tableau 3.1 - Traduction des besoins utilisateurs en fonctionnalités d'environnement 3D

<b>Besoins utilisateurs</b>	<b>Fonctionnalités de l'environnement 3D</b>
Charger une maquette modélisée en 3D dans l'interface	Chargement depuis la base de données de la plateforme BIMWeb d'une maquette numérique, présélectionnée par l'utilisateur
Se déplacer dans l'environnement 3D afin de visiter la maquette	Traverser les objets de l'environnement
Visiter la maquette 3D par étage du bâtiment modélisé dans la maquette	Limiter les déplacements verticaux afin de visiter uniquement l'étage actuel tout en traversant les objets
Sélectionner des éléments de la maquette	Sélectionner l'élément ciblé par la caméra de l'utilisateur

La création de l'environnement 3D engendre des besoins non exprimés par les utilisateurs. En effet, l'environnement doit obligatoirement posséder les caractéristiques suivantes :

- Les mouvements de caméra :

La compréhension de l'environnement 3D, et plus particulièrement des mouvements de la caméra, a nécessité une étape d'expérimentation où différents scripts ont été testés. Une fois cette phase d'expérimentation complétée, des scripts de déplacements et de mouvements

caméra adaptée ont été développés. Ils seront abordés plus en détail dans le chapitre 4 - Développement de ce rapport.

- La luminosité :

La luminosité d'un milieu est un paramètre essentiel dans gestion d'un environnement 3D. Elle va définir le réalisme et l'ambiance de la scène ainsi que le champ de vision maximal de l'utilisateur. À la vue des recherches effectuées, au moins deux catégories de lumières sont à intégrer dans un environnement 3D pour que l'utilisateur puisse voir. La première est une lumière ambiante diffuse, éclairant l'ensemble de la scène, et limitant les zones d'ombres. Une autre lumière est émise depuis la position de la caméra éclairera l'environnement proche de l'utilisateur, ce qui différenciera les éléments proches des éléments lointains.

La figure suivante représente ce que voit un utilisateur avec la luminosité décrite ci-dessus :

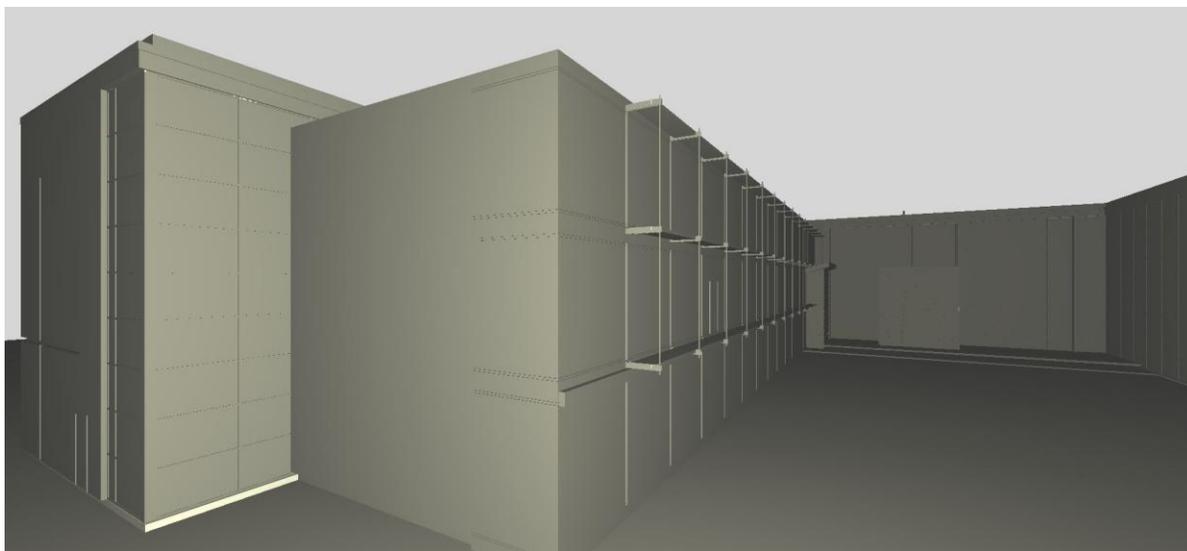


Figure 3.3 - Exemple de luminosité et de déplacement caméra dans un environnement 3D

Afin d'arriver à un résultat similaire à celui présenté dans la figure ci-dessus, il faudra intégrer ces deux catégories de lumières, et faire varier leurs paramètres pour obtenir une vision au plus proche de la réalité.

- La profondeur du champ de la caméra :

Lors de la navigation dans l'environnement 3D, l'utilisateur va entrer en contact avec les structures présentes. Pour éviter de gêner la visibilité et de ne pas occulter l'interface de l'utilisateur, une distance de champ minimal doit être imposée. Elle permettra de faire disparaître, du champ de vision, les objets de l'environnement si l'utilisateur s'en approche trop. Par exemple, regardez la partie gauche de la figure ci-dessous, qui ne devrait pas être visible :

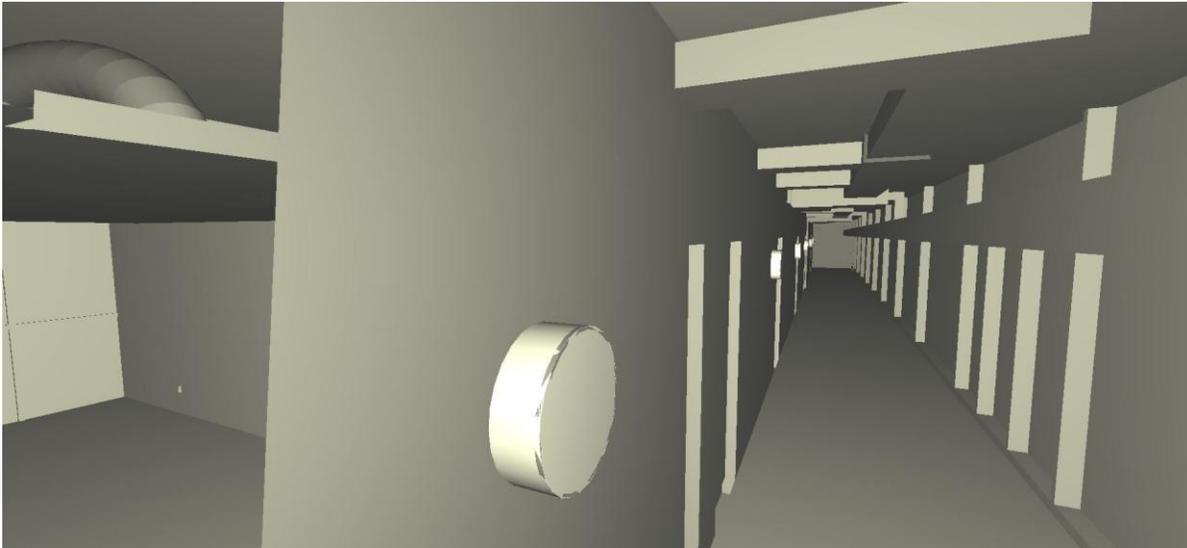


Figure 3.4 - Représentation du champ de vision

Si l'utilisateur se trouve dans un couloir, et se rapproche suffisamment d'un mur, la profondeur du champ de vision le fera disparaître. Il aura donc la vision sur l'environnement se situant derrière ce mur, comme l'illustre la Figure 3.2.

Afin de faciliter la navigation, des contrôles claviers seront implémentés, en premier lieu pour pouvoir se déplacer, mais aussi pour activer les fonctionnalités développées durant ce projet. Ils seront détaillés dans la section 4.7 – Interface de visualisation 3D.

### 3.5 Conception de l'interface utilisateur

La deuxième itération Agile du projet a consisté à définir une interface comprenant les fonctionnalités nécessaires pour répondre aux besoins des utilisateurs (cf. section 2.4). Les besoins utilisateurs liés à l'interface utilisateur ont été étudiés puis traduits en fonctionnalités d'interface, comme présentés ci-dessous :

Tableau 3.2 - Traduction des besoins utilisateurs en fonctionnalités d'interface

Besoins utilisateurs	Fonctionnalités d'interface
Afficher une interface pour visualiser les données de l'environnement	Allouer une partie de l'écran pour afficher une interface permettant de faire varier les paramètres de l'environnement 3D
Gérer les paramètres de l'environnement 3D	Régler la vitesse de déplacement de la caméra
	Régler la luminosité
	Sélectionner un des deux modes de navigation
Afficher les détails des éléments sélectionnés dans l'interface	Afficher des informations détaillées concernant un élément spécifique de l'environnement
Activer/désactiver l'interface	Désactiver l'affichage de l'interface

Ces fonctionnalités listées ont ensuite été traduites en éléments techniques d'interface. Ils sont détaillés dans le tableau 3.3.

Tableau 3.3 - Traduction des fonctionnalités en éléments d'interface

Fonctionnalités	Éléments d'interface
Réglage de la luminosité	Curseur déplaçable
Régler la vitesse de déplacement de la caméra	Champ texte modifiable
Sélectionner un des deux modes de navigation	Liste déroulante
Afficher des informations détaillées concernant un élément spécifique de l'environnement	Zone de texte défilant
Désactiver l'affichage de l'interface	Case à cocher

Les éléments d'interfaces et les fonctionnalités détaillées dans cette section ont donc permis de concevoir le prototype d'interface suivant :

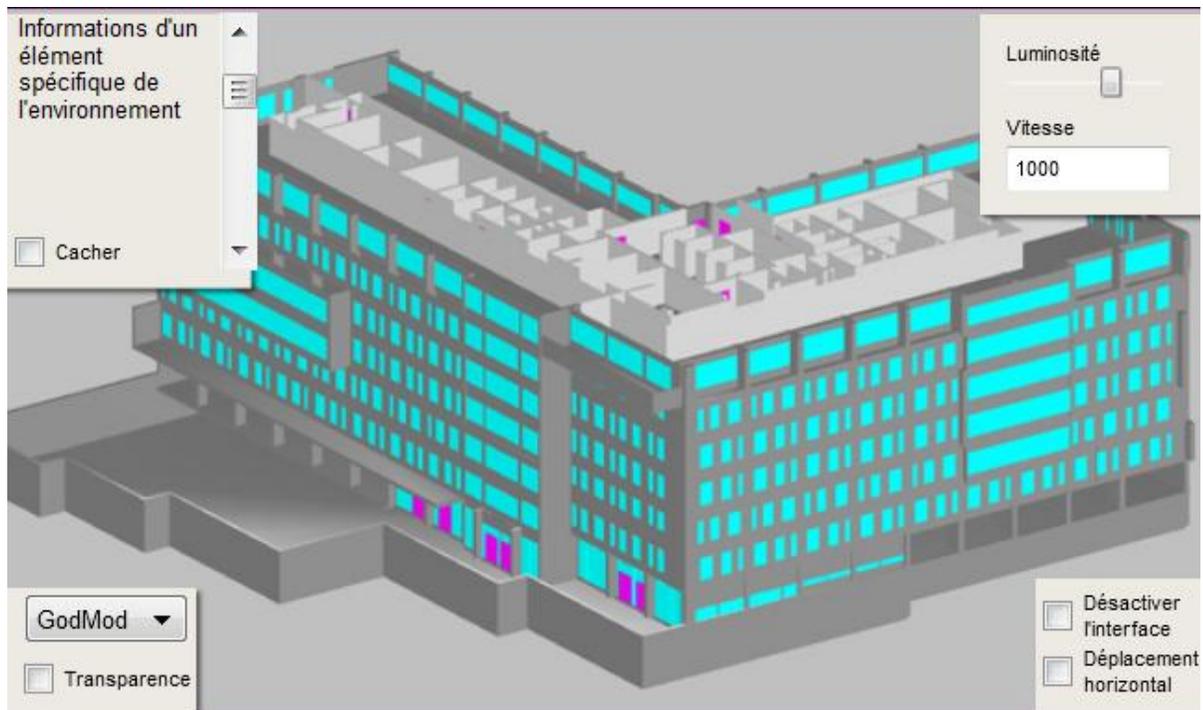


Figure 3.5 - Prototype de l'interface contenant les éléments d'interface

L'interface de visualisation de l'environnement 3D est issue en grande partie de ce prototype, et des concertations lors des présentations des interfaces.

Une seconde interface requise, un questionnaire, utilise les composants d'interface utilisateur développés dans le premier prototype et mettent en œuvre une Base de données afin de saisir des données à partir de l'interface Unity. Le représentant utilisateur a dessiné un croquis de l'interface requise :

	Vous	Meilleur
Individuel	1	34
Compagnie	6	36

Figure 3.6 - Prototype de l'interface du questionnaire

Cette interface comprend une question, située en haut, des éléments de réponse visibles sur le curseur horizontal au centre, et deux boutons pour soumettre les réponses ou éviter de répondre. Chaque utilisateur peut donner son niveau de confiance sur la validité de ses réponses grâce au curseur vertical situé à droite, et voir les statistiques sur les personnes ayant répondu à cette question dans un tableau tout en bas à droite. Il ne comptabilise que les personnes ayant répondu, et non si leurs réponses étaient justes ou leur niveau de confiance haut.

L'interface finale du questionnaire est basée sur ce prototype, et est intégrée dans un environnement 3D construit grâce aux connaissances acquises durant ce projet de maîtrise.

### 3.6 Découpage et spécification des tâches

Afin de faciliter le développement du projet, une découpe des tâches basées sur les besoins présentés à la Figure-A II-1 – Planification du visualisateur 3D web, en Annexe II, a été effectuée avant la phase de développement, mais aussi à chaque évolution des besoins après une itération suivant la méthode agile.

Tableau 3.4 - Découpage des tâches techniques

<b>Tâches techniques</b>	<b>Description</b>
Installation de l'environnement	Installer l'environnement de développement du projet.
Prise en main de Unity	Premiers pas sur le logiciel Unity, afin de se familiariser avec le moteur de développement.
Application des tutoriels	Application des notions apprises lors des tutoriels et des recherches sur la technologie Unity pour une meilleure compréhension et application de ces connaissances.
Chargement de fichiers tests	Connaître les capacités de chargement de Unity sur différents formats de fichiers, et connaître les temps de chargement.
Résolution de bogues de chargement	Résoudre les éventuels problèmes rencontrés lors des chargements de fichiers.
Mise en place de l'environnement 3D	Création d'un premier environnement 3D pour accueillir les maquettes modélisées.
Mise en place d'une caméra	Création d'une caméra et création d'un mode de vision 360°.
Mise en place d'une navigation « GodMod »	Permettre à l'utilisateur de déplacer la caméra à travers les parois de l'environnement 3D.
Mise en place du déplacement horizontal	Permettre à l'utilisateur de déplacer la caméra dans l'environnement 3D uniquement à l'horizontale.

Résolution de bogues de navigation	Résoudre les éventuels problèmes rencontrés lors de la mise en place de la caméra et de la navigation.
Tests sur les différents modes de vision de l'environnement 3D	Développer le mode de vision transparence dans l'environnement 3D.
Création d'une interface	Création d'une première interface afin de tester les premiers composants de l'interface.
Tests sur les éléments de l'interface	Tests sur les différents éléments d'interface existant nativement sur le moteur Unity.
Interaction entre l'interface et l'environnement	Liaison des composants de l'interface avec les fonctionnalités du projet.
Résolutions des bogues de liaison	Résoudre les éventuels problèmes rencontrés lors de la liaison des éléments d'interface avec les fonctionnalités.
Cacher/Afficher l'interface	Ajout de la fonctionnalité permettant de cacher ou d'afficher l'interface.
Chargement de fichiers en cours de lancement	Chargement de maquettes modélisé en 3D durant le lancement du logiciel.
Résolution de bogues lors du chargement en cours de lancement	Résoudre les éventuels problèmes rencontrés lors du chargement de maquettes modélisé en 3D durant le lancement du logiciel.
Sélection d'un élément	Sélection d'un élément et affichage de ses informations dans l'interface.
Résolution de bogues lors de la sélection d'un élément	Résoudre les éventuels problèmes rencontrés lors de la sélection d'un élément.
Création des composants d'interface	Création des différents éléments d'interface non natifs du moteur de développement Unity.
Tests des composants d'interface	Tests sur les composants d'interface.

Résolution des bogues de composants d'interface	Résoudre les éventuels problèmes rencontrés lors de la création des éléments d'interface non natifs du moteur de développement Unity
Création de l'interface de visualisation de l'environnement 3D	Création de l'interface de visualisation de l'environnement 3D en se basant sur le prototype décrit Chapitre 3.4 – Conception de l'interface utilisateur.
Résolution des bogues de l'interface de visualisation de l'environnement 3D	Résoudre les éventuels problèmes rencontrés lors de la création et de la liaison de l'interface de visualisation de l'environnement 3D.
Création de l'interface de questionnaire	Création de l'interface de questionnaire en se basant sur le prototype décrit Chapitre 3.4 – Conception de l'interface utilisateur.
Connexion à une base de données	Connexion à une base de données contenant les informations sur les questionnaires.

### 3.7 Conclusion

La première tâche accomplie durant la conception a été de comprendre la méthode de fonctionnement agile Scrum et d'en suivre les fondements. Son principe d'itération est adapté à ce projet. En effet, il a permis de s'ajuster à aux changements de besoins du projet BIMWeb, de présenter des prototypes et de les améliorer avec les retours émis, et de se former sur les technologies Unity et Mono.

Une architecture technologique a ensuite été préparée afin de s'adapter au moteur de développement Unity, et une conception de l'interface de visualisation 3D et du questionnaire a été définie.

La conception de l'environnement 3D a permis de transformer les besoins utilisateurs en fonctionnalités à implémenter, mais aussi de trouver des exigences de conception liés à la création de cet environnement.

La conception des interfaces a amené à la définition des fonctionnalités à mettre en place, ainsi que des éléments graphiques qui les caractérisent à l'écran. Il en résulte la création de prototypes d'interfaces et le découpage des tâches techniques du projet.

La phase suivante débute par l'installation d'un environnement de développement, avant de décrire comment ce sont déroulés les itérations de développement. Puis elle décrit les grandes étapes du développement de ce projet, ainsi que les résultats finaux.



## **CHAPITRE 4**

### **Développement**

#### **4.1 Frise des réalisations**

Ce chapitre présente les différentes parties de la phase de développement du projet. Il débute par la présentation de la liste des logiciels installés afin de commencer la phase de développement. Puis il rappelle le fonctionnement de la méthode Agile de développement par itération Scrum. Finalement, il présentera les fonctionnalités développées durant les itérations de ce projet.

La Figure-A III-1 – Frise chronologique de la phase de développement, située à l'annexe III, présente les grandes étapes de conception et programmation et les tâches associées (décrites dans la section 3.6 – Découpage et spécification des tâches), qui seront abordées plus en détail dans ce chapitre.

#### **4.2 Installation de l'environnement de travail**

La première étape de la phase de développement est l'installation de l'environnement de développement. Cette étape a été effectuée dès la confirmation de l'utilisation du moteur de développement Unity. Au début du projet, Unity était en version 4.5.5f1. Cette version ne possédait pas nativement les modules pour importer les fichiers de format « .ifc », format de base des modélisations sous Revit (c.-à-d. le logiciel BIM utilisé par les utilisateurs). Afin de pouvoir effectuer les premiers tests de chargements de fichiers, il a donc fallu intégrer un module d'importation de fichiers, nommé « Esoteric Mesh Importer », disponible sur l'« Asset Store » de Unity. En mars 2015, la version 5.0.0 de Unity a été lancée commercialement et cette version comprenait un module d'importation des fichiers « .ifc ».

Pour la base de données MySQL, le serveur local pour les tests a été géré en installant le WampServer version 2.5 (WampServer, [s.d.]).

### **4.3 Itérations Agile**

La phase de développement s'est déroulée suivant une méthode agile. Chaque rencontre de suivi impliquant les trois parties prenantes (voir la section 2.1 – Collaborateurs du projet BIMWeb) débute par la présentation du résultat de la dernière itération. En fonction de l'avancement du projet et des besoins du représentant utilisateur, des commentaires sont émis sur l'état d'avancement et les résultats et un plan des ajustements est discuté pour la nouvelle itération. Cette approche permet donc de construire graduellement l'interface de visualisation qui correspond aux besoins exprimés, tout en se formant sur les notions nouvelles nécessaires pour réaliser les tâches à suivre. Chaque itération se déroule comme indiqué par la Figure 3.1 – Plan de route du projet d'interface de visualisation 3D.

### **4.4 Fonctionnalités développées**

#### **4.4.1 Prise en main du moteur Unity**

Avant de commencer le développement du projet, une période de prise en main du moteur de développement, ainsi que de son éditeur de développement Mono, appelé MonoDevelop (MonoDevelop, [s.d.]), était nécessaire. Cette période a été dédiée à la compréhension de l'interface du logiciel Unity, et au test des fonctionnalités vues lors de la veille technologique, notamment comment concilier les logiciels Unity et MonoDevelop, et comment exporter un projet développé sur Unity en application web.

#### 4.4.2 Tests de chargement de fichier

Durant la phase d'apprentissage de la technologie Unity, il était possible de répondre à une problématique du projet BIMWeb, à savoir quel format de fichier était le plus efficace au chargement. Pour le découvrir, plusieurs fichiers de maquettes de bâtiments ont été fournis, et d'autres ont été sélectionnés dans l' « Asset Store » de Unity pour effectuer des essais. La comparaison s'est faite sur le temps de chargement suivant le format et la taille de chaque fichier. Les résultats de cette recherche, disponibles au Tableau-A IV-1 – Résultats complets des tests de chargement de fichiers, en Annexe IV, sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4.1 - Résultats des tests de chargement de fichiers

Format des fichiers	Taille des fichiers		
	Petit : <100Mo	Moyen : < 200Mo	Grand : > 200Mo
Ifc	20s < t < 40s	30s < t < 50s	40s < t < 60s
Fbx	30s < t < 60s	30s < t < 60s	60s < t < 90s
Obj	30s < t < 50s	30s < t < 60s	50s < t < 80s

#### 4.4.3 Environnement 3D

Le moteur de développement Unity permet de créer un environnement 3D vierge infini, ne contenant qu'une caméra comme point de départ. La première étape de développement est de permettre à cette caméra de tourner sur elle-même, puis d'avancer et de reculer, afin de voir son entourage. Les déplacements de la caméra sont construits comme des translations réalisées sur un axe (X, Y, Z). Une fois la position de la caméra récupérée, on considère cette position comme point de référence pour la translation. Pour définir le vecteur directionnel vers lequel la caméra va se déplacer, on récupère la direction vers laquelle la caméra regarde. Une fois le vecteur directionnel et le point de départ récupérés, il suffit d'effectuer la translation dans le sens du vecteur par une distance, qui définira la vitesse de déplacement de la caméra.

Ce déplacement ne sert pas si l'utilisateur ne peut pas voir son entourage. L'environnement 3D natif ne fournit aucune lumière. Plusieurs styles de lumières sont disponibles dans le moteur de développement Unity, en particulier les lumières diffuses, qui éclairent l'ensemble de l'environnement, et les points de lumière, qui fonctionnent comme un lampadaire. Disposer un point de lumière sur la position de la caméra permet à l'utilisateur de voir son environnement proche, et la lumière diffuse lui permet de discerner l'environnement au loin.

Un script a été développé pour permettre de gérer les événements de la souris, donc de changer l'angle de vision de la caméra, et un autre pour gérer les événements du clavier, et donc les déplacements de l'utilisateur. Pour faciliter l'exploration de l'environnement 3D, des modes de déplacement ont été ajoutés. Ils autorisent l'utilisateur à ralentir ou accélérer rapidement, à changer la vitesse générale de déplacement, ou encore à limiter ses déplacements à l'horizontale, afin de visiter un niveau tout en regardant dans la direction qu'il souhaite.

La Figure 4.1 présente l'évolution entre l'environnement 3D créé au début de cette phase et celui à la fin. Les itérations ont permis d'affiner les paramètres de la luminosité et de la caméra pour obtenir un environnement plus réaliste. D'autres corrections seront faites durant les autres phases de développement.

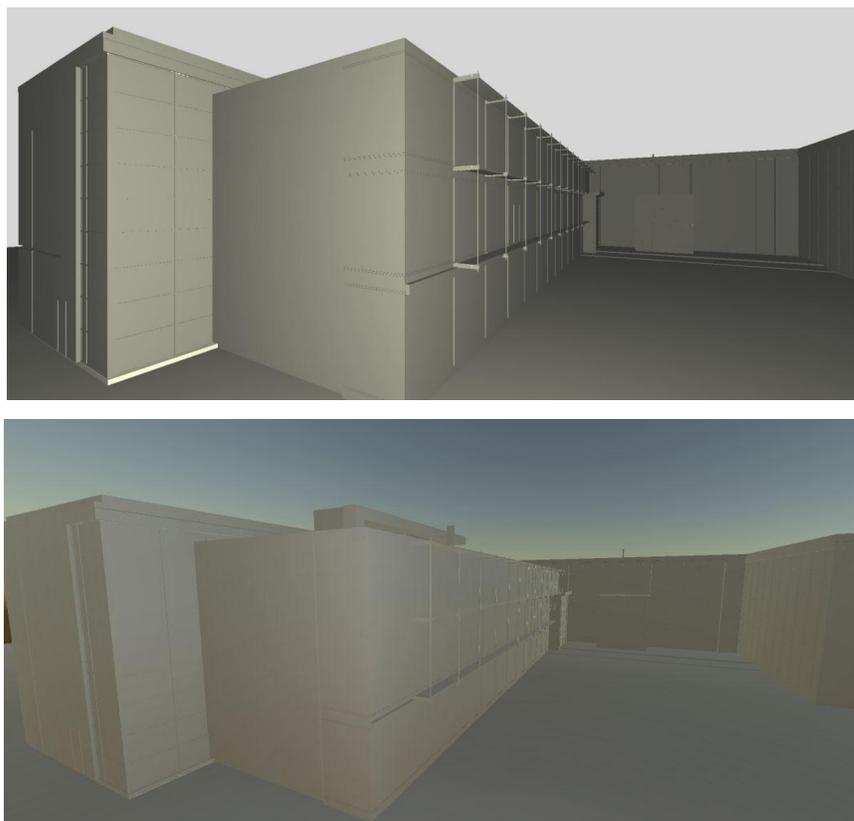


Figure 4.1 - Évolution de la phase de développement de l'environnement 3D

#### 4.4.4 Création de l'interface

Le moteur de développement Unity propose un environnement lié à la caméra, appelé « toile », où il est possible de placer des éléments pour les afficher à l'écran, quelle que soit la position de la caméra. Cette toile fait partie de l'environnement 3D placée dans le champ de vision de la caméra. Il est possible d'intégrer, dans cette zone, des éléments d'interfaces. Le logiciel Unity fournit les plus simples, comme des panneaux transparents, des zones de texte, des boutons ou des champs de saisie. Certains d'entre eux possèdent des événements déclencheurs, comme cliquer sur un bouton ou presser un bouton sans le relâcher. Ce sont ces événements déclencheurs qui appellent des scripts contenant les fonctionnalités désirées.

Dans cette étape de développement, l'objectif est de dessiner l'interface qui conviendra le mieux aux exigences, et de lier les fonctions précédemment développées et celles disponibles dans Unity avec les éléments de l'interface. Différentes interfaces ont donc été testées afin d'expérimenter leurs possibilités, comme celle de la figure 4.2.

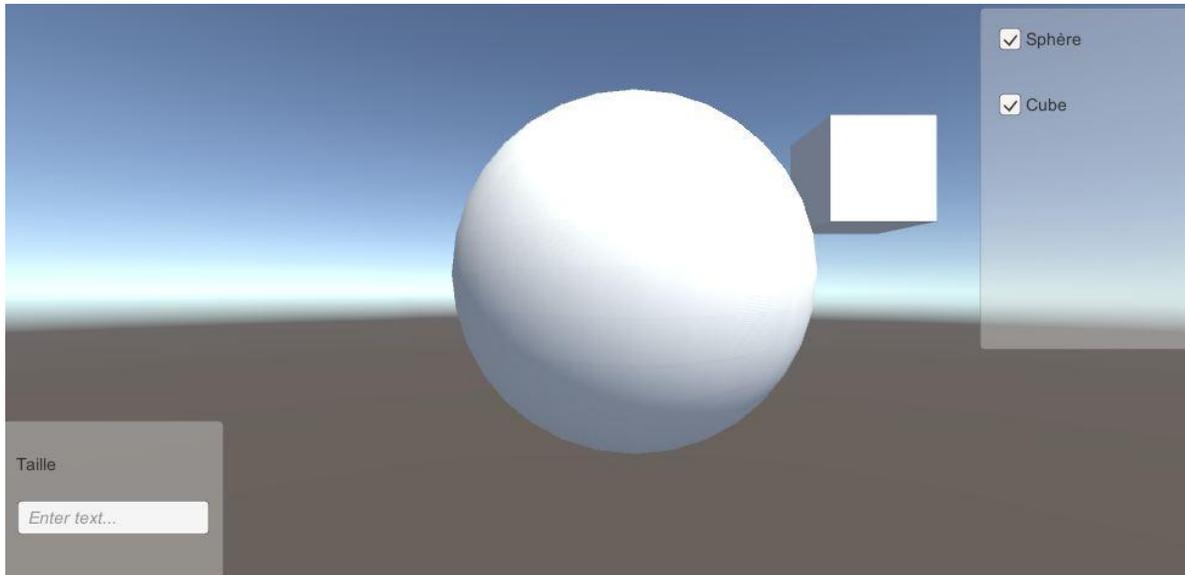


Figure 4.2 - Interface de test des relations éléments graphiques et fonctionnalités

Afin de les comparer entre elles, une scène est créée pour chaque interface testée. Une scène est un nouvel environnement 3D, qui peut être mis en relation avec d'autres scènes, par exemple une maison et la rue dans laquelle elle est située. La compréhension du fonctionnement des scènes et des connexions des fonctions avec les éléments d'interface, la caméra, et l'environnement 3D, ont nécessité l'étude de ces notions. L'acquisition de ces compétences a empiété sur le temps de développement, mais sont nécessaires au développement de prochaines tâches techniques, présentées dans la section 3.6 – Découpage et spécification des tâches.

Les différentes interfaces produites au fil des itérations ont permis d'améliorer leur ergonomie, permettant notamment de définir la disposition qui répond le mieux aux exigences et aux besoins du projet. Un exemple d'interface proposée est présenté à la figure 4.3.

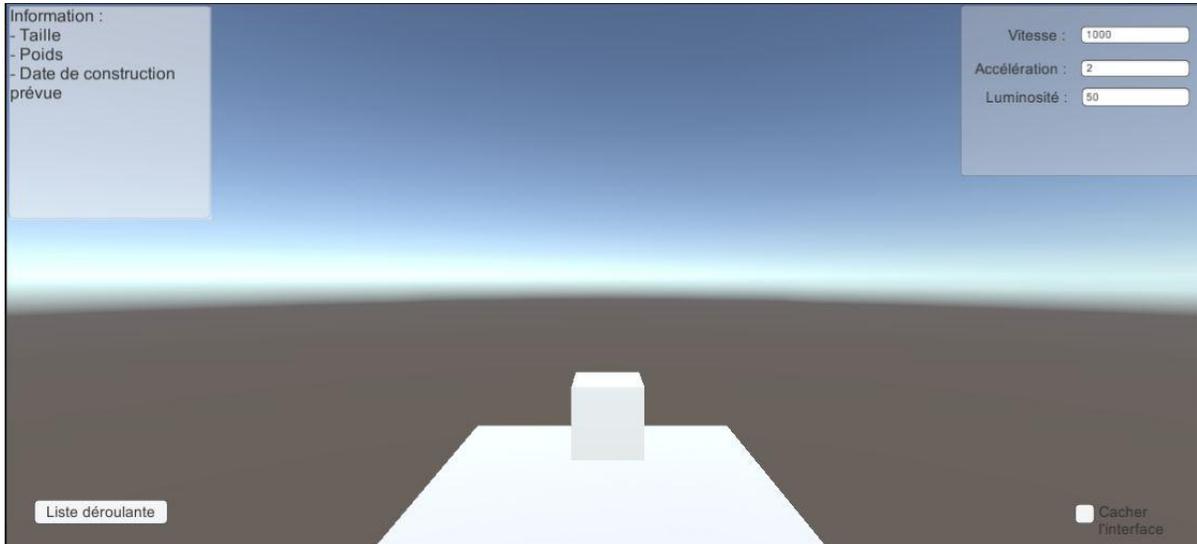
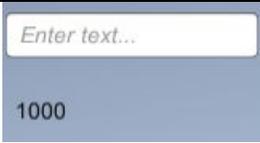
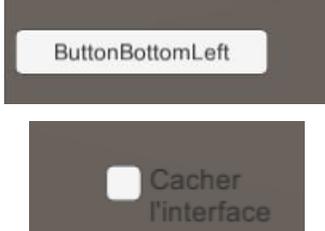
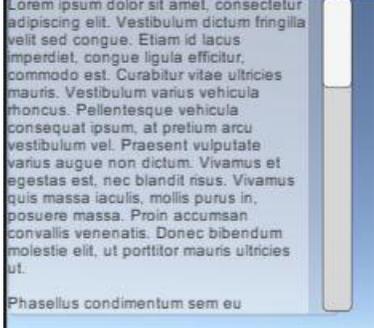


Figure 4.3 - Exemple d'interface proposée durant la phase de développement

Au cours de la présentation des résultats d'une itération, les parties prenantes de ce projet émettaient des commentaires sur les types de composants, leur position sur l'interface, et comment ce serait souhaitable de les disposer à l'écran. Ces commentaires recueillis étaient transformés en besoins pour l'itération suivante. Chaque itération comprenait donc la conception d'une interface améliorée ainsi que des tests sur les possibilités des composants disponibles dans Unity. Le tableau suivant regroupe différents commentaires exprimés durant cette phase de développement :

Tableau 4.2 - Commentaires de l'interface et les éléments concernés

Commentaires	Éléments concernés
Dans le coin supérieur droit, la valeur de la vitesse doit être affichée dans le champ de valeur qui permet de la modifier, et non dans un texte à part.	

<p>Le panneau supérieur droit doit être plus grand, et contenir une barre de défilement, au cas où les informations nécessaires ne tiennent pas sur la taille du panneau.</p>	
<p>Les éléments situés dans les coins inférieurs doivent être présentés dans des panneaux, comme ceux des coins supérieurs.</p>	
<p>Ajouter une case à cocher pour le coin en supérieur gauche, afin de ne cacher que ce volet.</p>	
<p>Dans le coin supérieur gauche, changer la gestion de la luminosité par un curseur, et diminuer la taille totale du panneau.</p>	

Ces améliorations ont permis de concevoir l'interface présentée à la Figure 4.4 – Interface sélectionnée. Elle contient quatre « panels » dans chaque coin de l'écran. Le coin en haut à gauche sert à afficher les informations importantes à l'utilisateur dans une zone de texte, tandis que celui en haut à droite sert à modifier les valeurs de navigation, la luminosité grâce à un curseur et la vitesse de déplacement dans des champs de texte. Le coin inférieur gauche permettra à l'utilisateur de sélectionner son mode de déplacement grâce à une liste déroulante, et le coin inférieur droit lui donne la possibilité de cacher le reste de l'interface au moyen d'une case à cocher.

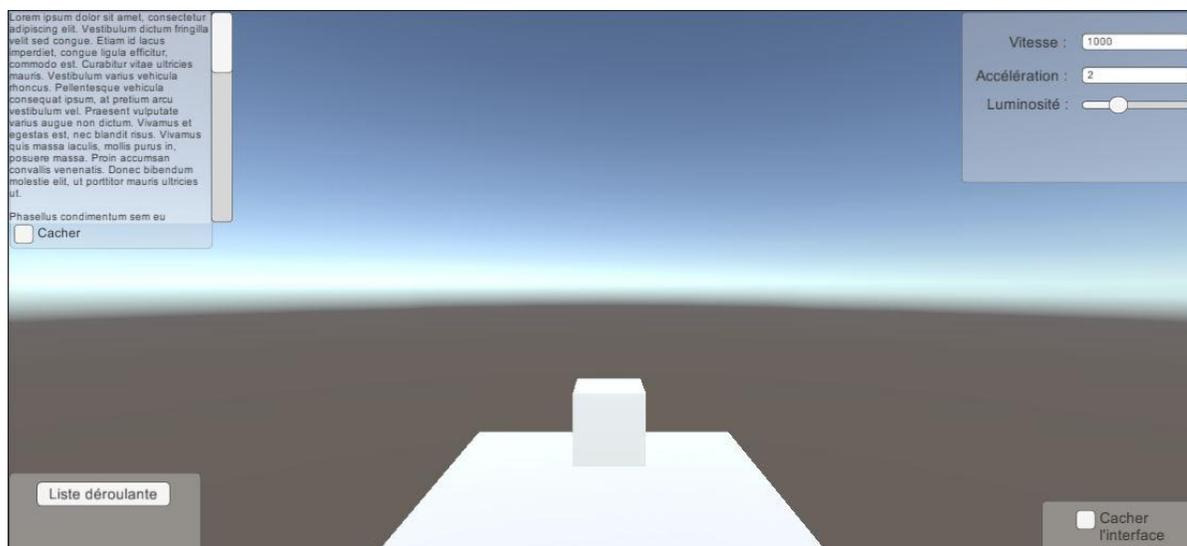


Figure 4.4 - Interface sélectionnée

Lors de la dernière itération de cette phase de développement, une période a été allouée à l’affichage des objets sous différentes formes, pouvant être gérée par le moteur de développement Unity, permettant d’afficher les structures en transparence.

#### 4.4.5 Chargement en cours d’exécution et sélection d’un élément

L’étape suivante dans le développement de ce projet a porté sur la gestion des données importées, et le processus d’importation. La plus grosse partie de l’effort consacré à cette phase visait l’importation de modèles 3D en cours d’exécution. Jusque-là, les maquettes étaient déjà importées avant le lancement du programme. Le but est donc de trouver un moyen de sélectionner un fichier au format désiré, de l’importer dans une scène, et d’afficher cette scène.

Le projet BIMWeb possède une base de données destinée à accueillir les projets des industries de construction, et donc les fichiers contenant les maquettes modélisées en 3D. L’objectif final est donc d’aller chercher un projet dans cette base, et de l’importer dans le visionneur 3D. Pour faciliter le développement de cette partie, les fichiers testés se trouvent dans un dossier local.

Quand le fichier est sélectionné, l'extension du fichier à importer est analysée, et la fonction d'importation correspondante est invoquée. Une fois que le fichier est importé, sa forme physique n'est pas encore créée ni affichée, elle est juste chargée en mémoire. Une scène est donc choisie pour recevoir la modélisation 3D, qui est placée à l'origine de l'environnement, ainsi que sa caméra.

Les étapes d'importation et de création de la forme physique n'ont pas encore abouti, et demandent encore quelques tests et modifications avant d'être totalement fonctionnelles.

Le second objectif de cette phase de développement est de sélectionner un élément spécifique dans l'environnement 3D, afin d'en afficher les informations sur l'interface. Cette tâche se décompose en deux parties : trouver l'élément souhaité dans l'environnement 3D, et en retirer les informations voulues.

Le principe pour sélectionner un élément en particulier est similaire au déplacement. Le programme considère la position de la caméra, et la direction vers laquelle elle regarde, afin d'obtenir un vecteur directionnel. Avec ces données, il suffit de chercher le premier élément présent sur la demi-droite partant de la caméra et allant dans la direction du vecteur. Une fois l'objet détecté, il ne reste plus qu'à récupérer le composant en question dans Unity et de consulter les informations que l'on souhaite.

Les informations de l'objet ne sont pas présentes dans les fichiers des maquettes chargées. Ces modélisations 3D ne sont que des ensembles de formes simples, rectangles, cylindres ou autres, assemblées pour former un bâtiment. Or le but est d'afficher des informations concernant chaque élément, sur sa date de construction, ses matériaux, l'entrepreneur qui l'a construit, etc. Pour ajouter ces informations, un travail en amont est nécessaire. Soit les informations sont ajoutées dans les fichiers de modélisation 3D avant importation, soit ces fichiers doivent être fournis avec un complément qui contient les informations de chaque élément, et à qui elles correspondent. Pour le développement et les tests de cette partie, les informations ont été

incorporées manuellement à certains éléments faciles à sélectionner, en attachant directement un script contenant les données avec le moteur de développement Unity.

Au rendu de ce projet, la fonction qui détermine quel élément est sélectionné par l'utilisateur ne répond pas encore correctement. Une fois cette étape passée, il restera toujours à déterminer pour le projet BIMWeb comment attacher les données aux éléments modélisés.

#### **4.4.6 Composants de l'interface**

Tel que présenté à la section 4.4.4 – Création de l'interface, le moteur de développement Unity possède déjà quelques éléments d'interface, mais pas tous ceux désirés pour l'interface de visualisation 3D désirée, par exemple : une liste déroulante, une zone de texte déroulante ou curseur à plusieurs valeurs sont manquants. Pour répondre à ce besoin, ces éléments doivent être conçus et développés. La création de ces éléments d'interface se fait en utilisant d'autres éléments existants, tels des boutons et des curseurs, ou en utilisant des formes simples comme des rectangles ou des changements de couleur.

Le principe ici est d'être imaginatif et de comprendre comment fonctionnent les éléments d'interface à créer. Par exemple, une zone de texte déroulante est une zone de texte combinée à une barre de défilement, qu'on lie ensemble. Lors de l'interaction avec la barre de défilement, on déplace le texte proportionnellement au déplacement de la barre de défilement grâce à un script.

Après avoir construit un élément d'interface, il faut aussi lui créer ses événements déclencheurs. La compréhension des différents éléments d'interface, qui correspond à la phase de développement décrite dans la section 4.4.4 – Création de l'interface, est d'une aide non négligeable dans le développement de cette partie. Savoir comment fonctionnent les éléments d'interface créés dans le moteur de développement Unity a permis de développer les fonctions d'appel de ces événements déclencheurs.

Les étapes décrites dans cette phase de développement ont demandé plusieurs itérations afin de recueillir les recommandations de la part des collaborateurs du projet BIMWeb. Ces itérations ont permis de créer des éléments d'interface répondants aux attentes graphiques, de répondre aux différents cas d'utilisation possibles de corriger les défauts, et programmer finalement le prototype final de l'interface de visualisation 3D qui correspond le mieux aux besoins mis en avant dans ce projet en prenant en compte les contraintes de temps et d'efforts d'un projet de recherche appliquée de quinze crédits.

#### 4.4.7 Interface de visualisation 3D

Cette section va décrire en détail le rendu final de cette interface. La figure ci-dessous est une prise d'écran de l'interface de visualisation 3D :

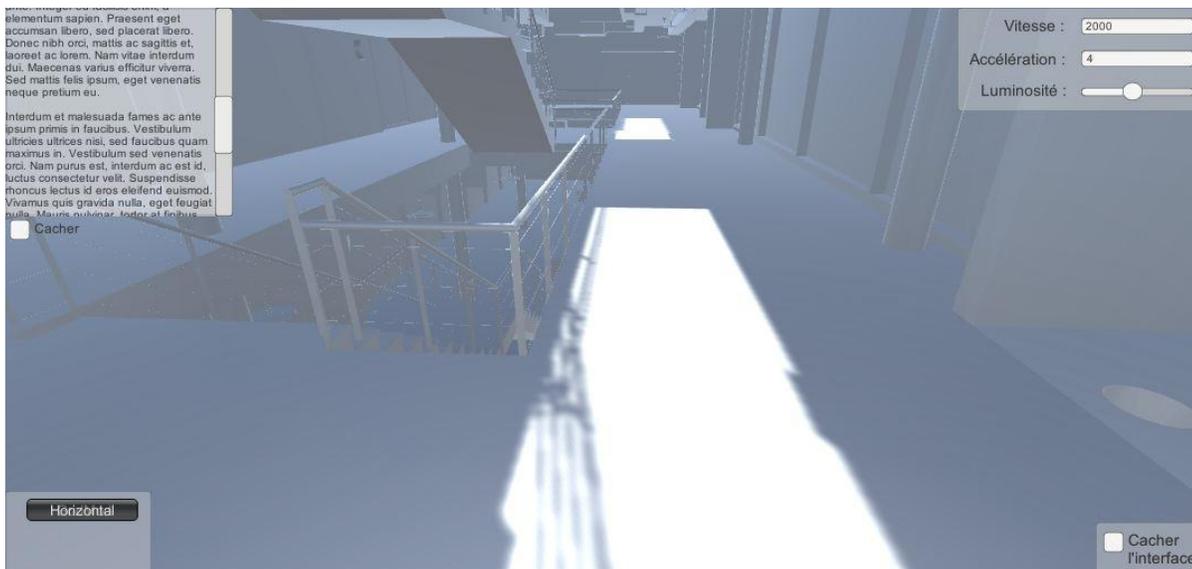


Figure 4.5 - Interface de visualisation 3D

La figure 4.5 présente cette interface finale. On y distingue quatre « panels », situés chacun dans un coin de l'écran. Le coin en haut à gauche est une zone de texte, visible dans la figure 5.2 – Coins supérieure gauche, qui sert à afficher des informations à l'utilisateur. Sachant que

cette partie de l'interface est la plus volumineuse, et n'est pas toujours pertinente, comme quand l'utilisateur se déplace, il est possible de la masquer en cliquant sur la case à cocher « Cacher ». On obtient ainsi une interface, illustrée à la figure 4.8, d'interface avec coin supérieur gauche masqué.

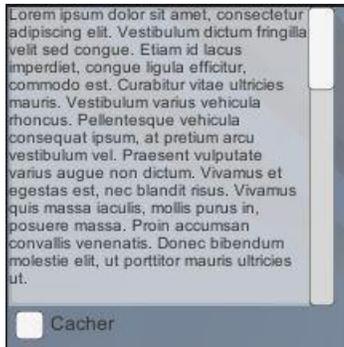


Figure 4.6 - Coin supérieur gauche

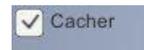


Figure 4.7 - Case à cocher supérieur gauche



Figure 4.8 - Interface avec coin supérieur gauche caché

Le coin supérieur droit, de la figure 4.9, offre les outils permettant à l'utilisateur de gérer son environnement, affiché dans la figure 5.5 – Coin supérieur droit. L'utilisateur peut modifier les variables du logiciel en changeant les valeurs des champs de texte. Il gère ainsi la vitesse

générale de déplacement et le facteur d'accélération, et peut faire varier la luminosité, proche de la caméra, grâce à un curseur déplaçable. Il adapte alors la navigation à son environnement.

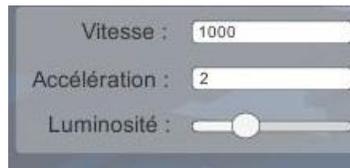


Figure 4.9 - Coin supérieur droit

Le coin inférieur gauche, de la figure 4.10, contient une liste déroulante de modes de navigations utilisables par l'utilisateur dans cet environnement 3D, dépliée à la figure 5.6 – Coin inférieur gauche. Ces modes sont « GodMod » et « Horizontal ». Le « GodMod » consiste à se déplacer en fonction de l'endroit où l'on regarde, et traverser les murs comme un fantôme. Le mode « Horizontal » limite les déplacements de la caméra uniquement sur l'horizontal, comme un humain visitant un bâtiment. Cette navigation permet à l'utilisateur de se déplacer dans son environnement tout en étant libre de regarder quelque chose, sans forcément s'y diriger, comme avec le « GodMod ».



Figure 4.10 - Coin inférieur gauche

Le coin inférieur droit, visible à la figure 4.11, permet de masquer les trois autres parties de l'interface, comme l'illustre la figure 5.8 – Interface avec éléments masqués :



Figure 4.11 - Coin inférieur droit

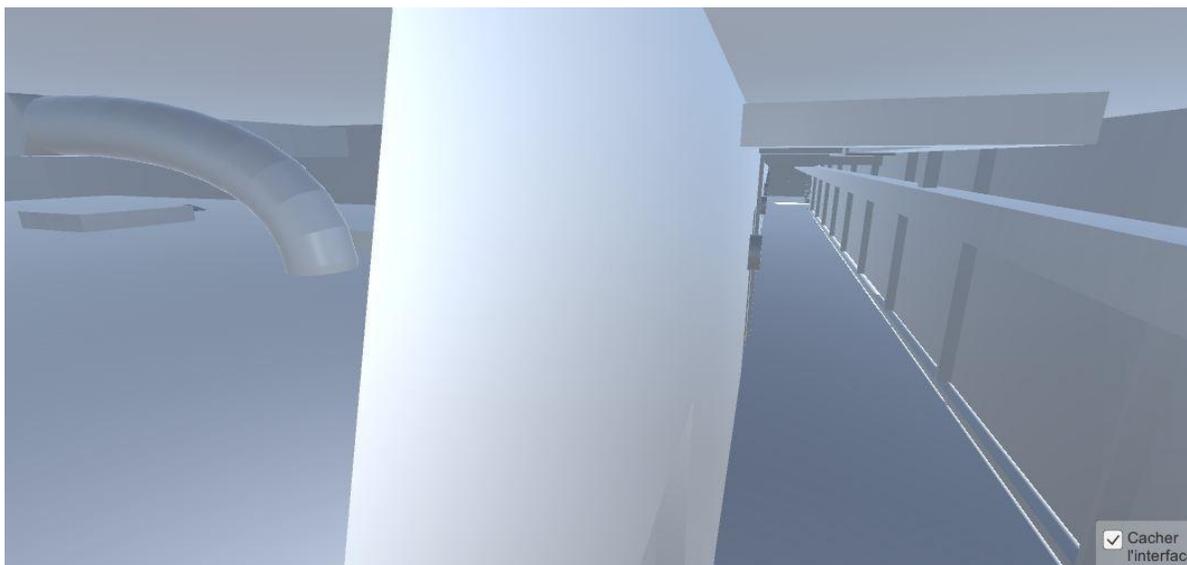


Figure 4.12 - Interface avec éléments masqués

La figure ci-dessus met en évidence l'évolution du projet dans la gestion de l'environnement 3D (gestion de la lumière et des reflets, champ de vision, déplacement de la caméra, etc.), en comparaison avec la figure 3.2 – Représentation du champ de vision.

#### Contrôles utilisateurs :

Pour faciliter la navigation, des contrôles claviers sont implémentés afin de permettre à l'utilisateur d'interagir avec l'environnement 3D ou l'interface. Les contrôles claviers de ce projet ont été calibrés à un clavier de type AZERTY, mais peuvent être mis en mode QWERTY en appuyant sur les touches 'K' et 'L'.

Tout d'abord, les mouvements de la souris servent à faire bouger la caméra. Les touches servant à déplacer la caméra sont les flèches directionnelles, ainsi que les touches 'Z', 'Q', 'S' et 'D'. La touche 'E' sélectionne l'élément ciblé par la caméra. Les touches « Maj », ou majuscules, accélèrent les déplacements de la caméra, tandis que les touches « Ctrl », ou contrôles, les ralentissent. Il est aussi possible de changer le mode de navigation en utilisant les chiffres du pavé numérique, ou les chiffres situés au-dessus des lettres du clavier. La valeur '1' correspond au « GodMod » et la valeur '2' au mode « Horizontal ».

Si l'utilisateur souhaite interagir avec son interface, il peut mettre en pause la navigation, bloquant alors tous les autres contrôles, et faire apparaître un curseur de souris. Plusieurs touches courantes ont été sélectionnées pour cette tâche : « Échap », « Espace », 'P' et 'A'. Une fois la navigation stoppée, la souris sert à faire bouger le curseur, et l'utilisateur peut cliquer ou modifier un des champs de l'interface. Pour reprendre la navigation, il suffit de réutiliser un des contrôles cités précédemment.

Sachant que ce logiciel est utilisé sur un fureteur web, il ne possède pas de fonction pour quitter. L'utilisateur y accède par une fenêtre de navigateur web, et peut à tout moment fermer cette fenêtre et donc quitter le logiciel.

#### **4.4.8 Création du questionnaire**

Vers la fin de cette partie du projet, la phase de développement décrite à la section 4.4.5 - Chargement en cours d'exécution et sélection d'un élément rencontraient des difficultés techniques. Afin de continuer à faire avancer le projet, et de pouvoir utiliser les connaissances acquises avec le logiciel Unity, le représentant utilisateur a demandé la création d'une seconde interface nécessaire pour une autre partie du projet BIMWeb, à savoir un questionnaire sur le domaine de la construction à partir des menus développés dans les premières itérations du projet.

Ce questionnaire doit être présenté sur une interface en 2D à l'intérieur de l'environnement 3D, et se connecter à une base de données pour récupérer les questions, les réponses, et interagir avec des utilisateurs.

Le prototype de cette deuxième conception et développement est présenté à la section 3.4 – Conception de l'interface utilisateur. La construction de cette interface s'est faite en peu d'itérations grâce à la réutilisation des connaissances obtenues durant la première partie de ce

projet. Ce questionnaire contient des éléments d'interface fournis par le moteur de développement Unity, mais aussi un curseur permettant à l'utilisateur de faire varier plusieurs valeurs. Cet élément a pu être construit et intégré dans l'interface grâce à la phase de développement décrite dans la section 4.4.6 – Composants de l'interface.

Comme pour la création de l'interface de visualisation 3D, celle du questionnaire a été commentée et améliorée. La figure suivante est l'une des étapes intermédiaires dans la création de l'interface :

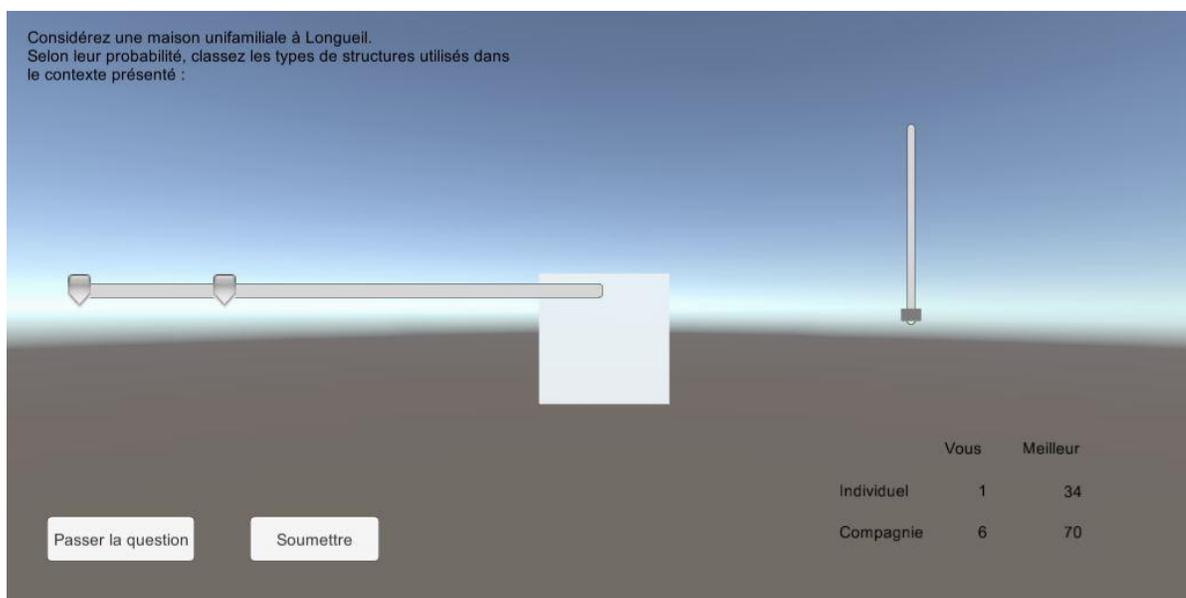


Figure 4.13 - Étape de la création de l'interface du questionnaire

Le représentant utilisateur a fourni un exemple de base de données, qui a été retravaillé et complété pour stocker les résultats des utilisateurs et en faire des statistiques, personnelles ou d'entreprise. Le défi de cette phase de programmation a été d'associer l'interaction de l'interface avec la gestion d'une base de données. Pour faciliter la gestion des multiples niveaux de ce logiciel, la partie chargement des données des questionnaires est construite sur le modèle MVC. Les scripts « Modèle » requêtent des informations brutes dans la base de données, les organisent, et instancient les classes correspondantes. Les scripts « Vue » mettent à jour les éléments d'interface et informent le contrôleur des événements utilisateurs. Et les scripts « Contrôleur » gèrent l'ensemble des requêtes des scripts « Modèle » et des événements

des scripts « Vue ». La Figure-A V-1 – Base de données du questionnaire, ainsi que son explication, est disponible en Annexe V.

Les essais de cette interface, par le représentant utilisateur, et ses retours ont permis d'améliorer l'interaction entre l'interface et l'utilisateur, en rendant la lecture des données du curseur plus lisible et son utilisation plus fluide, ainsi qu'une amélioration de l'architecture de la base de données.

Le rendu de cette partie permet à un utilisateur de répondre à des questions générées aléatoirement, en se basant sur ses connaissances dans le domaine de la construction. L'utilisateur répond aux questions en se servant du curseur, et indique son niveau de confiance quant à ses résultats. Quand il valide son choix, le logiciel envoie les résultats et met à jour les statistiques de la question présente en base de données. Puis il requête une nouvelle question, en sélectionnant aléatoirement une question à trous, un type de bâtiment et une localisation, et construit la phrase à afficher dans l'interface. Des réponses appropriées à cette question sont ensuite chargées et affichées dans le curseur de réponses, adapté au nombre de réponses. Enfin, le tableau affichant les statistiques de la question est mis à jour pour correspondre à la nouvelle question générée. Les réponses du questionnaire serviront à alimenter une base de données statistique sur les connaissances des utilisateurs.

#### **4.4.9 Interface du questionnaire**

Cette section présente plus précisément l'interface du questionnaire. La figure suivante est une représentation de l'interface du questionnaire :

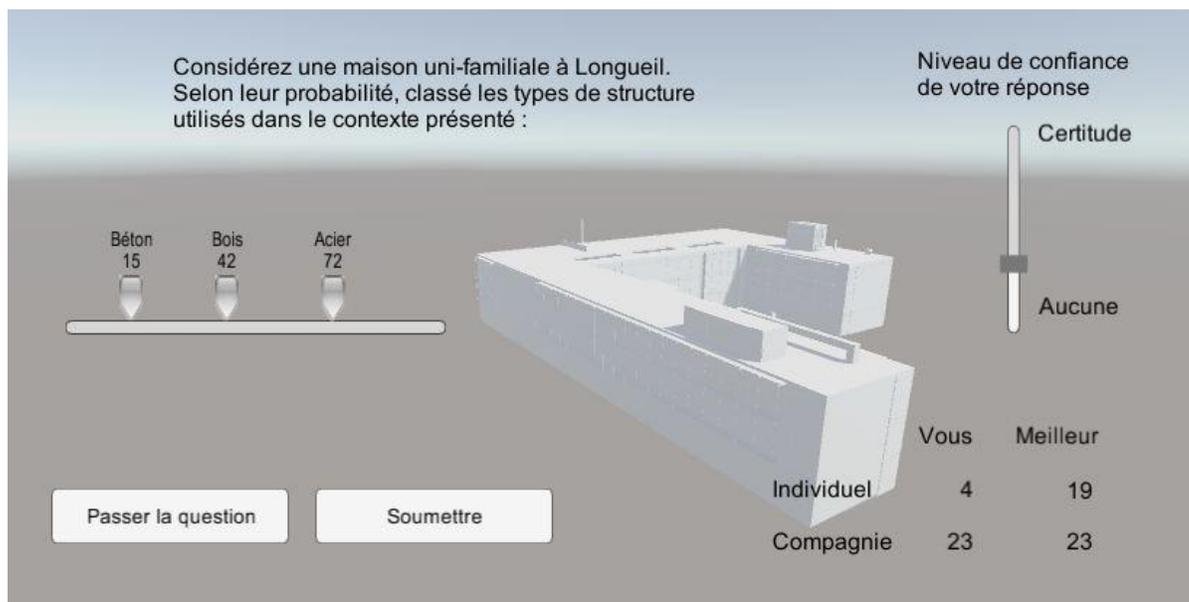


Figure 4.14 - Interface du questionnaire

Cette interface comprend les éléments suivants :

Une question dans une zone de texte (voir figure 4.5), générée à partir d'une question générale, d'un type de bâtiment et d'une localisation, tous choisis aléatoirement dans la base de données.

Considérez une maison uni-familiale à Longueuil.  
Selon leur probabilité, classé les types de structure utilisés dans le contexte présenté :

Figure 4.15 - Question du questionnaire

Un curseur, voir figure 4.16, qui contient les différentes réponses de la question, avec leur valeur en pourcentage affichée.

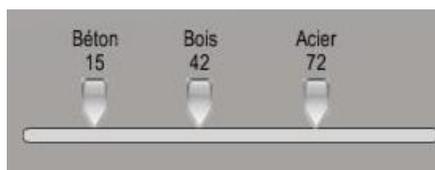


Figure 4.16 - Réponses du questionnaire

Un second curseur, voir figure 4.17, qui permet à l'utilisateur de donner approximativement son niveau de confiance quant à ses réponses.

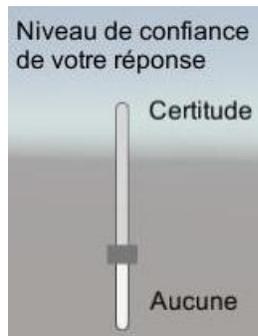


Figure 4.17 - Niveau de confiance du questionnaire

Deux boutons, voir figure 4.18, qui permettent à l'utilisateur à ne pas répondre à cette question, et à générer une autre question aléatoire, ou soumettre sa réponse, ce qui envoie les résultats de cette question à la base de données, et génère une nouvelle question. Une nouvelle question va remettre les curseurs à leur point d'origine, afin de faire en sorte que l'utilisateur choisisse ses réponses, et ne fasse pas que soumettre tout le temps la même réponse.



Figure 4.18 - Boutons du questionnaire

Enfin, à la figure 4.19, un tableau qui présente le nombre de personnes ayant déjà répondu à cette question. La ligne « Individuel » désigne les utilisateurs, et la ligne « Compagnie » regroupe les résultats de tous les utilisateurs d'une même compagnie. La colonne « Vous » présente les statistiques qui concernent les réponses de l'utilisateur en cours et celles des utilisateurs de votre compagnie, tandis que la colonne « Meilleur » affiche le plus grand nombre de fois qu'une personne ou qu'une compagnie entière a répondu à cette question.

	Vous	Meilleur
Individuel	4	19
Compagnie	23	23

Figure 4.19 - Tableau statistique des utilisateurs du questionnaire

Le fond d'écran, voir la figure 4.20, est une maquette de bâtiment modélisé en 3D, autour duquel la caméra tourne, animant ainsi cette interface.

La figure suivante représente une autre question générée par le logiciel :

Considérez une maison uni-familiale à Québec.  
Selon leur probabilité, classé les types de structure utilisés dans le contexte présenté :

Niveau de confiance de votre réponse

Certitude

Aucune

Acier 26

Bois 66

Béton 78

Vous

Meilleur

Individuel 4 24

Compagnie 28 28

Passer la question

Soumettre

Figure 4.20 - Interface d'une autre question du questionnaire

De même que pour l'interface de visualisation 3D, ce logiciel est exporté au format web par le moteur de développement Unity.

## 4.5 Conclusion

Avec les tâches techniques identifiées, un plan de route a été défini pour répondre au mieux aux objectifs fixés à ce projet. Il a débuté par la prise en main du logiciel Unity, nécessaire pour le développement du module d'interface. En parallèle, des tests ont été effectués afin de déterminer le temps de chargement des trois formats de fichiers 3D les plus courants, et donc de conseiller l'extension « ifc » pour les projets gérés par la plateforme BIMWeb.

La phase de gestion de l'environnement 3D a servi à comprendre comment fonctionne la manipulation d'objets dans Unity, la gestion d'un espace 3D, et finalement de créer les modes de navigation et de gestion de la caméra du projet.

Les itérations suivantes ont porté sur la création des premières interfaces. Beaucoup de temps a été investi dans la mise en application de la boucle de jeu de Unity, ainsi que dans la correction de bogues entre la navigation de la caméra et la gestion de l'interface à l'écran. Après plusieurs itérations, l'interface 3D présentée a convenu aux exigences du projet, et la phase de développement suivante a été lancée.

La partie chargement en cours d'exécution a été une étape à part du reste du projet, car son exécution n'était pas graphique. Cette singularité a rendu l'exécution de cette tâche plus complexe. Il en va de même pour la gestion de cette tâche durant l'exécution du programme. Malgré le temps passé au débogage, cette fonctionnalité n'est pas encore aboutie.

La sélection d'objets a demandé en premier lieu une étude des principes mathématiques appliqués aux calculs de trajectoires. Une fois les fondements assimilés, il a fallu les traduire avec les fonctionnalités de Unity et du langage Mono. La fonctionnalité implémentée est presque fonctionnelle, et nécessite encore quelques tests afin de la débloquer.

La création de composants d'interface a permis d'avancer l'interface de visualisation 3D et de monter en compétence pour la création de l'interface du questionnaire. En effet, certaines

fonctions des deux interfaces nécessitaient des éléments graphiques particuliers, à savoir des listes déroulantes ou des curseurs à plusieurs valeurs. Pouvoir créer ces outils offre la possibilité de construire une interface qui peut répondre à tous les besoins.

La dernière phase de développement a consisté à la création d'un questionnaire en ligne, son interface, sa gestion de base de données et son fonctionnement interne. Ce questionnaire génère des questions aléatoires, recueille les réponses et les stocke en base de données, afin de générer des statistiques sur les connaissances des utilisateurs. Les points forts de cette phase ont été dans la gestion de la base de données, ainsi que l'utilisation des connaissances acquises pour la création de l'interface.

Toutes les fonctionnalités exprimées pour ce projet n'ont pas pu être achevées, mais il se termine sur la production d'un prototype fonctionnel d'interface de visualisation 3D et d'un questionnaire en ligne, enrichissant le projet BIMWeb.

Le dernier chapitre de ce rapport décrit les choix qui ont mené à choisir ce projet, les compétences acquises, une description des objectifs atteints, les difficultés qui en ont découlé, et finalement les améliorations qui pourraient être mis en place dans le futur.



## CHAPITRE 5

### Discussion

#### 5.1 Apprentissage

Le choix de ce projet réside dans la volonté d'apprendre de nouveaux langages techniques et technologiques, découvrir un domaine métier jamais côtoyé et travailler selon la méthode Scrum.

L'apprentissage d'un nouveau domaine technologique qu'est la modélisation 3D a été très enrichissant. Découvrir un nouveau milieu est exaltant, car il y a beaucoup à apprendre, des nouveaux logiciels (Unity, MonoDevelop), de nouveaux langages (Mono, C#), ou de nouvelles manières de procéder (Mathématiques, Scrum).

Le travail effectué sur Unity m'a apporté de nouvelles notions sur la modélisation 3D et le fonctionnement d'un logiciel interactif. En premier lieu, Unity m'a fait découvrir à quel point les mathématiques et la géométrie sont importantes lors de la conception d'un logiciel en 3D. Chaque modélisation 3D n'est qu'un assemblage de formes géométriques simples, que l'on ne considère que comme un tout. De même, les interactions se déroulant dans un environnement 3D passent par de la détection de collision et des calculs de trajectoires. Ensuite, la boucle de jeu du logiciel régit les événements déclencheurs et les interactions avec l'utilisateur.

Le fonctionnement Scrum a permis de remettre en cause à chaque itération le code présent, de toujours chercher à améliorer l'existant, tout en ajoutant de nouvelles fonctionnalités. La construction d'un logiciel basé sur la méthode Scrum diffère des autres par le souci de produire un rendu fonctionnel à chaque fin d'itération, et à trouver comment l'améliorer dans les itérations suivantes. La méthode Scrum est donc bien adaptée à l'amélioration de l'interface.

Il en va de même pour la création d'une interface dans ce domaine. Durant le cursus universitaire et professionnel, le développement était concentré sur les fonctionnalités du

logiciel et la gestion des données. Concevoir et développer une interface est un concept nouveau apporté par ce projet. Il faut réfléchir sur l'espace que prend chaque élément, définir quel outil utiliser et où le placer dans l'interface.

De plus, chacune des phases de ce projet a permis de découvrir des aspects de la gestion de projet, depuis son lancement jusqu'à sa mise en production. La phase de contexte a mis en avant une problématique du domaine de la construction, ainsi que le fonctionnement des projets universitaires. La phase de mise en situation a fait découvrir comment, en un travail de recherche basé sur une problématique et une mission, on pouvait arriver à déterminer quelles technologies utiliser, et ce sans avoir encore cherché à construire une solution. La conception du projet a mis en valeur l'importance de bien définir sa problématique et sa mission, afin de prévoir et donc construire au mieux la phase de développement. La phase de développement a fait valoir l'influence de l'organisation dans le processus de développement autonome.

Le rendu final a été produit grâce à un long apprentissage et développement, autonome, et apportent une pierre à l'édifice du projet BIMWeb.

## 5.2 Tâches techniques réalisées

Afin de mieux visualiser les objectifs réalisés durant, ce projet, un tableau reprenant les tâches techniques et leur état à la fin du projet sont présentés ci-dessous :

Tableau 5.1 – Tâches techniques réalisées

<b>Tâches techniques</b>	<b>État</b>	<b>Description</b>
Installation de l'environnement	Achevé	Installation du moteur de développement Unity effectué au début du projet
Prise en main de Unity	Achevé	Apprentissage de l'interface du moteur de développement Unity, de ses fonctionnalités, de l'exportation des programmes en lecteur web.

Application des tutoriels	Achevé	Recherche de tutoriels basés sur les technologies Unity et Mono, impliquant l'un des objectifs techniques définis dans le Tableau 2.3. Application des notions apprises lors des tutoriels dans des tests sur le logiciel Unity.
Chargement de fichiers tests	Achevé	Tests effectués pour connaître les vitesses de chargement de Unity des formats de fichiers « ifc », « fbx » et « obj ».
Mise en place de l'environnement 3D	Achevé	Création lors de la première phase de développement d'un environnement 3D pour accueillir les maquettes modélisées. Ajout de lumières, de reflets pour plus de réalisme, et importation de nombreux modèles 3D afin d'adapter l'environnement aux gabarits des bâtiments.
Mise en place d'une caméra	Achevé	Implantation d'une caméra et création d'un mode de vision 360°.
Mise en place d'une navigation « GodMod »	Achevé	Implémentation d'un mode de navigation de type fantôme, déplaçant la caméra dans la direction de sa vision, et permettant de traverser les éléments de l'environnement 3D.
Mise en place du déplacement horizontal	Achevé	Implémentation d'un mode de navigation empêchant la caméra de se déplacer verticalement, permettant à l'utilisateur la visite d'un étage spécifique du modèle 3D.
Mise en place des différents modes de vision des modèles 3D	Achevé	Implémentation d'une fonction qui change l'apparence des modèles 3D en fils de fer, afin de voir à travers.
Création d'une interface	Achevé	Création d'interfaces utilisant différents éléments graphiques du moteur de développement Unity.
Interaction entre l'interface et l'environnement	Achevé	Liaison des composants de l'interface (zones de texte, champs modifiables, liste déroulante, etc.), avec les fonctionnalités du projet (affichage des informations,

		changement des paramètres du programme, choix du mode de déplacement, etc.).
Cacher/Afficher l'interface	Achevé	Implémentation d'une fonction permettant de cacher et de réafficher l'interface utilisateur.
Chargement de fichiers en cours de lancement	Inachevé	Chargement de maquettes modélisées en 3D en mémoire, puis affichage dans l'environnement 3D durant le lancement du logiciel. La fonction est développée, mais reste bloquée à l'étape de chargement en mémoire des données.
Sélection d'un élément	Inachevé	Implémentation d'une fonction de détection d'objets modélisés, de recherche de l'objet 3D dans la liste des éléments présent et affichage de ses informations. L'identification de l'objet détecté reste à être corrigée.
Création des composants d'interface	Achevé	Création des éléments graphiques nécessaires pour compléter les interfaces; amélioration de l'affichage durant les itérations; implémentation du fonctionnement de ces éléments.
Création de l'interface de visualisation de l'environnement 3D	Achevé	Création et amélioration d'une interface de visualisation 3D durant les itérations des différentes phases de développement.
Création de l'interface de questionnaire	Achevé	Création et amélioration d'une interface de questionnaire lors des itérations de la dernière phase de développement.
Connexion à une base de données	Achevé	Gestion d'une base de données de questions et réponse, implémentation de fonctions de chargement et de sauvegarde des questions et des réponses.

Même si toutes les fonctionnalités demandées durant ce projet ne sont pas finalisées, la redéfinition des objectifs à réalisés a permis de remplir d'autres besoins du projet BIMWeb.

### 5.3 Difficultés rencontrées

Travailler dans un domaine inconnu est exaltant, mais difficile, car on ne possède aucune marque ni repère. L'étude de la technologie Unity s'est donc faite en aveugle. Seules les tâches à accomplir prodiguaient un guide sur les notions à apprendre. Mais des parties de cette technologie sont passées sous silence durant la phase d'étude de Unity. Ces notions ont dû être rattrapées lorsque les difficultés étaient rencontrées, ce qui a rendu la phase de développement plus complexe.

Concilier le programme de maîtrise et le projet n'a pas toujours été simple. Les cours de maîtrise demandent beaucoup de travail personnel, imposent des projets de classes et nécessitent du temps pour préparer les examens.

Le tableau suivant décrit les difficultés rencontrées, par ordre chronologique, lors de la phase de développement :

Tableau 5.2 - Difficultés rencontrées durant la phase de développement

Difficultés	État	Description
Résolution de bogues de navigation	Résolu	Problèmes de gestion des entrées utilisateurs, clavier et souris, non reconnues.
	Résolu	Limitation du champ de vision, vertical et horizontal, de la caméra lors de la mise en place des déplacements.
Résolution de bogues de chargement	Résolu	Importation des fichiers « ifc » non géré par Unity, qui a donc demandé l'installation du module de chargement « Esoteric Mesh Importer », après passage du compte de développement Unity en compte professionnel.

Tests sur les éléments de l'interface	Résolu	Erreurs entre les mouvements de la caméra et la mise en place de l'interface, engendrant des déplacements des éléments graphiques à l'écran, et limitant les mouvements de la caméra.
	Résolu	Expansion non désirée de l'interface, sortant les éléments graphiques de l'écran.
Résolutions des bogues de liaison	Résolu	Disparition de fonctions à déclencher avec un évènement utilisateur, lors de la modification de l'interface ou des scripts sans rapport.
Résolution de bogues lors du chargement en cours de lancement	Résolu	Chargement en mémoire du fichier modélisé non exécuté au lancement de la fonction, empêchant l'affichage du modèle dans l'environnement 3D.
	Non Résolu	Erreurs lors du chargement en mémoire du fichier modélisé.
Résolution de bogues lors de la sélection d'un élément	Non Résolu	Fonction de détection des objets ne parvenant pas à définir quel élément de l'environnement est détecté.
Résolution des bogues de composants d'interface	Résolu	Disparition du composant de l'écran au lancement du programme.
Résolution des bogues de l'interface du questionnaire	Résolu	Non-crédation du nombre de curseurs de réponses voulu au chargement des réponses.
Résolution des bogues de gestion de la base de données	Résolu	Erreur de chargement des statistiques des réponses des compagnies à afficher dans le tableau, indiquant 0.

## 5.4 Axes d'amélioration

BIMWeb est un projet en début de conception et de développement. Des axes d'amélioration et d'autres fonctionnalités pourraient être incorporés dans l'interface de visualisation de l'environnement ou dans celle du questionnaire :

Gestion de projet :

La maîtrise TI implique beaucoup d'examens et de projets. La gestion du temps alloué à chacun dépendait de la charge de travail dans chaque matière. Une meilleure gestion de l'implication apportée entre les cours et le projet, et de la communication des difficultés techniques rencontrées auraient permis une meilleure évolution de ce projet de maîtrise.

Travailler simultanément à plusieurs élèves sur la partie environnement 3D ou interface du projet BIMWeb permettrait de débloquer les problèmes techniques plus rapidement, ou encore de créer une émulation accélérant le développement des fonctionnalités. Il serait ainsi préférable que plusieurs élèves rejoignent le projet BIMWeb.

La partie concernant l'interface de visualisation 3D, sa sécurité et sa gestion des données ne comporte qu'un WBS en guise de documentation technique. Il serait recommandé d'ajouter d'autres documents techniques tels un document de Vision, des cas d'utilisation, des exigences et spécifications logicielles. Ces documents permettraient de comprendre plus rapidement le contexte du projet et son aspect technique.

La mise en place et le partage d'un répertoire commun aux différents membres du projet contenant les documents de spécification et les codes sources seraient bénéfiques aux membres de l'équipe BIMWeb, afin de centraliser les connaissances.

Questionnaire :

- Afficher un retour textuel et/ou graphique des réponses données par les utilisateurs
- Proposer plusieurs types de questions, car le questionnaire actuel ne propose actuellement que des questions basées sur des probabilités.
- Utiliser d'autres moyens pour afficher les réponses, tels des champs de texte à remplir, des cases à cocher, proposer des questions à choix multiples, basés sur les différents types de questions.
- Trouver une valeur ajoutée au fond d'écran du questionnaire.
- Affiner l'interface en jouant sur les couleurs, la disposition des éléments, en la surchargeant plus.

#### Interface de visualisation 3D :

- Terminer le module de chargement des modèles 3D, actuellement bloqué sur la conversion des données.
- Corriger les bogues de la fonction de sélection. La méthode de recherche d'élément ne trouve pas d'élément sur la demi-droite de sélection. Le bogue vient soit d'un souci mathématique dans la recherche d'élément, soit dans la sélection de l'élément détecté.
- Intégrer les fonctionnalités suivantes:
  - Afficher les objets en surbrillance quand l'utilisateur les pointe.
  - Afficher les objets sélectionnés par l'utilisateur dans une couleur particulière.
  - Créer un mode spectateur permettant à un utilisateur de rejoindre une session qu'une autre personne dirige.
  - Modifier les attributs d'un objet.
  - Mettre en place des codes couleur ou des éléments visuels dans l'environnement ou sur un objet 3D pour indiquer un problème ou une urgence.
  - Créer plusieurs conditions météo modifiables, impactant les éléments présents.
  - Créer des scénarios de danger pour voir comment gérer ces situations.
  - Modifier la géométrie d'un élément.
  - Ajouter un élément dans l'environnement.

- Créer des versions et notifications aux parties prenantes du projet, lors de l'ajout d'un élément ou d'une modification de l'environnement.
- Afficher des textures correspondantes aux informations de chaque élément.

## **5.5 Conclusion**

Ce projet a permis d'entrevoir un nouveau domaine de travail, ainsi que le milieu de la conception 3D. Il a aussi fait découvrir la gestion de projet dans le milieu universitaire, le développement orienté interface, et a permis l'apprentissage du moteur de développement Unity et du langage Mono. Toutefois, travailler dans cet environnement nouveau a augmenté la difficulté de ce projet.

Malgré les fonctionnalités qui n'ont pu être finalisées, les connaissances acquises sur ces technologies ont permis de créer un prototype d'interface de visualisation 3D. Cette expérience servira au projet BIMWeb d'exemple pour son environnement de visualisation de maquettes 3D finale.

De plus, après une redéfinition des objectifs, ce projet a aussi créé un questionnaire en ligne, récoltant les connaissances des utilisateurs sur les constitutions des bâtiments. Ces données seront récoltées et utilisées par des écoles du domaine de la construction, par le biais de la plateforme BIMWeb.



## CONCLUSION

Le but de ce projet était de créer une interface de visualisation 3D pour le projet BIMWeb, une plateforme web collaborative de gestion de projet pour les entreprises de construction, en utilisant des plans 3D issus de l'utilisation de la technologie BIM. L'interface développée a pour objectif de visualiser des maquettes 3D des projets gérés par cette plateforme web.

Pour pouvoir rassembler les différents corps de métier œuvrant sur les projets de construction autour d'une plateforme commune, il a été décidé de construire une interface utilisateur de visualisation de bâtiments 3D qui répondrait aux besoins des différentes professions du domaine de la construction. L'étude de cette problématique a amené à la définition de ces utilisateurs ainsi que leurs besoins. Ces besoins ont été ensuite traduits en tâches techniques, afin de concevoir l'interface de visualisation 3D de ce projet.

Une veille technologique a été effectuée afin de comprendre au mieux la technologie Unity, imposée pour ce projet, suivit de la conception du logiciel, notamment des prototypes d'interface pour l'environnement visualisation 3D et pour celle du questionnaire, ajouté à ce projet. Enfin, les besoins utilisateurs ont été traduits en tâches techniques pour organiser le développement du projet.

Le projet BIMWeb étant en phase de lancement au début de ce projet, ses besoins client et objectifs étaient en constante évolution. Ce projet s'est donc déroulé suivant la méthode de travail agile Scrum, afin de pouvoir s'adapter à ces changements, et pour se former et construire pas à pas la solution finale.

Le projet BIMWeb est encore loin d'être terminé, et il reste beaucoup à faire. Les résultats de cette expérience serviront de base pour l'interface de visualisation de maquettes 3D finale. Le questionnaire en ligne, quant à lui, récoltera les connaissances des utilisateurs sur les constitutions des bâtiments. Ces données seront récoltées et utilisées par des écoles du domaine de la construction, par le biais de la plateforme BIMWeb. L'avenir de cette plateforme est donc

prometteur, car il s'agit d'un des seuls projets logiciels web sur le marché permettant la gestion collaborative de projet de construction.

# ANNEXE I

## Cycle de vie de Unity

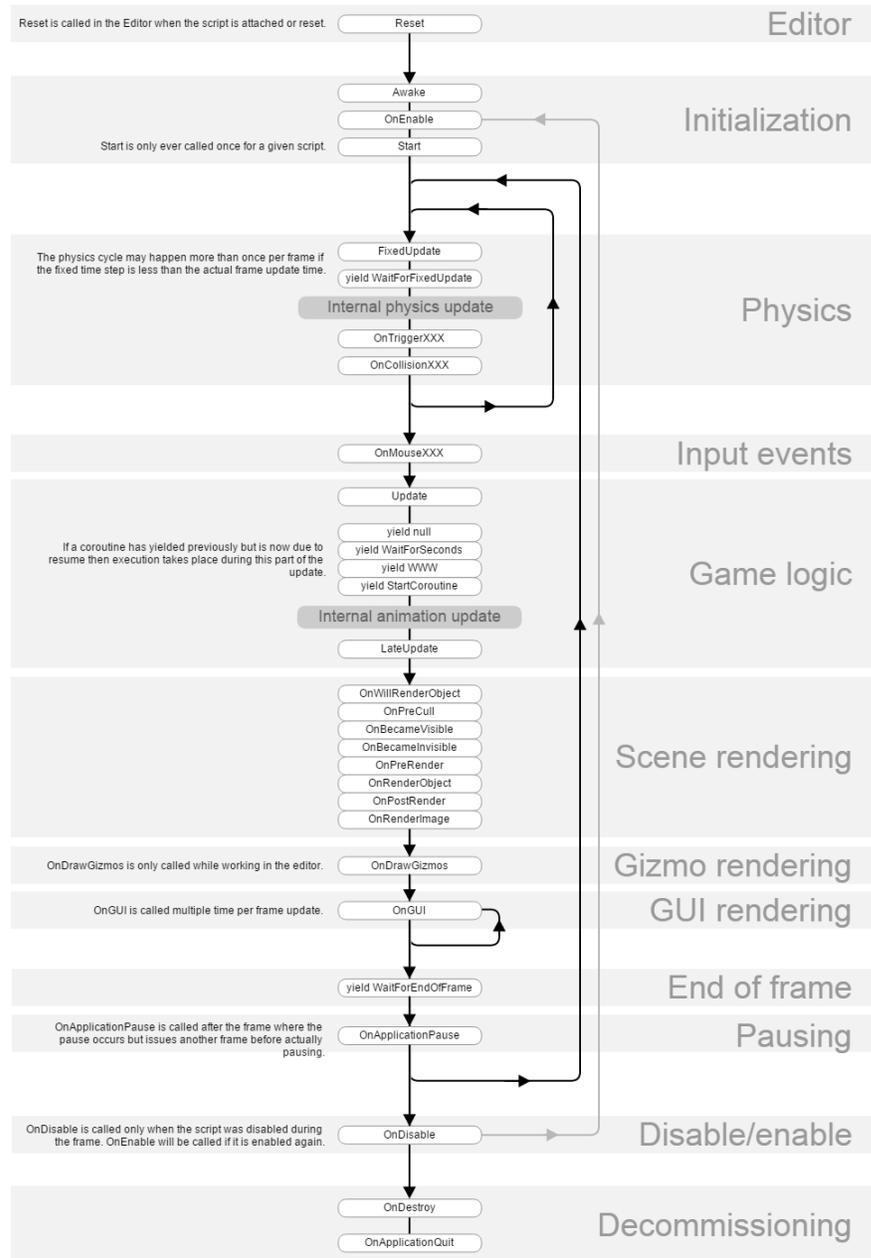


Figure-A I-1 - Cycle de vie de Unity (Unity3D, [s.d.] #3)



## ANNEXE II

### Planification du visualisateur 3D web

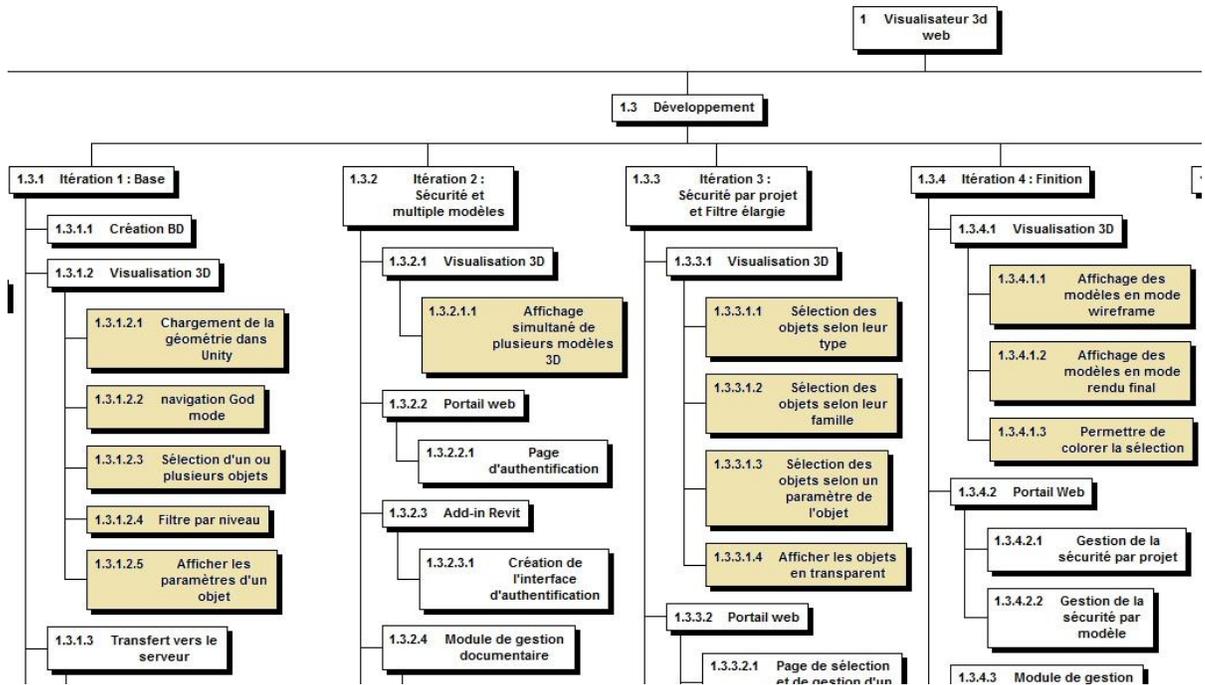


Figure-A II-1 - Planification du visualisateur 3D web



## ANNEXE III

### Frise chronologique de la phase de développement

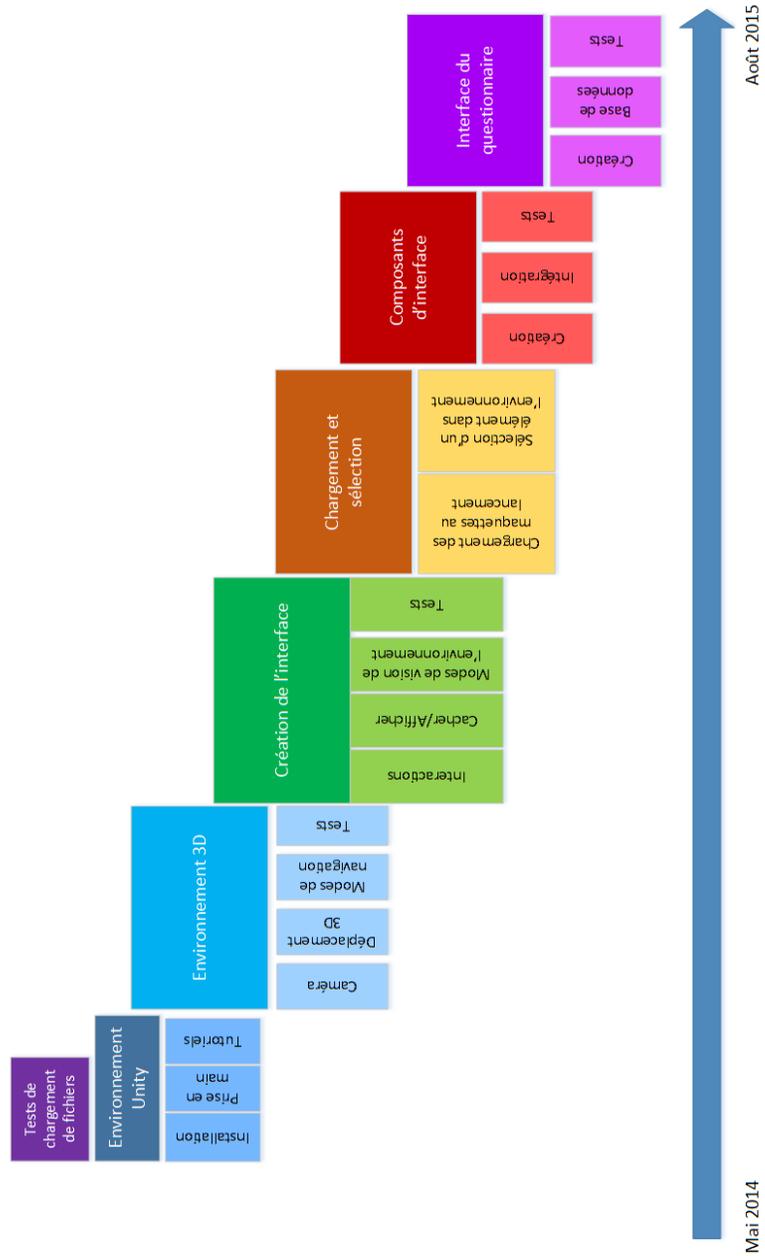


Figure-A III-1 - Frise chronologique de la phase de développement



## ANNEXE IV

### Résultats complets des tests de chargement de fichiers

Tableau-A IV-1 - Résultats complets des tests de chargement de fichiers

Format	Taille totale	07/07/2014	09/07/2014	11/07/2014	12/07/2014	14/07/2014
ifc	224Mo	46 sec	49 sec	50 sec	48 sec	48 sec
ifc	130Mo	35 sec	28 sec	35 sec	26 sec	27 sec
ifc	155Mo	35 sec	39 sec	41 sec	39 sec	36 sec
ifc	184Mo	46 sec	48 sec	55 sec	50 sec	51 sec
ifc	241Mo	48 sec	48 sec	56 sec	47 sec	50 sec
ifc	254Mo	60 sec	55 sec	60 sec	54 sec	54 sec
ifc	47Mo	22 sec	25 sec	26 sec	28 sec	27 sec
ifc	48Mo	24 sec	20 sec	28 sec	26 sec	22 sec
ifc	59Mo	29 sec	35 sec	38 sec	36 sec	35 sec
fbx	105Mo	38 sec	38 sec	39 sec	45 sec	39 sec
fbx	145Mo	60 sec	52 sec	54 sec	55 sec	54 sec
fbx	207Mo	60 sec	65 sec	66 sec	62 sec	70 sec
fbx	227Mo	85 sec	83 sec	89 sec	78 sec	84 sec
fbx	78Mo	29 sec	31 sec	36 sec	31 sec	32 sec
fbx	83Mo	36 sec	33 sec	37 sec	31 sec	31 sec
fbx	115Mo	42 sec	43 sec	46 sec	41 sec	43 sec
fbx	231Mo	79 sec	83 sec	86 sec	81 sec	79 sec
fbx	91Mo	55 sec	52 sec	56 sec	52 sec	51 sec
obj	216Mo	57 sec	57 sec	59 sec	56 sec	57 sec
obj	86Mo	46 sec	45 sec	48 sec	46 sec	42 sec
obj	162Mo	55 sec	54 sec	58 sec	54 sec	55 sec
obj	76Mo	36 sec	34 sec	39 sec	42 sec	37 sec
obj	172Mo	55 sec	54 sec	58 sec	54 sec	55 sec
obj	47Mo	37 sec	36 sec	42 sec	40 sec	40 sec
obj	222Mo	70 sec	68 sec	73 sec	72 sec	73 sec
obj	135Mo	39 sec	45 sec	49 sec	45 sec	49 sec
obj	255Mo	73 sec	73 sec	76 sec	74 sec	73 sec



## ANNEXE V

### Base de données du questionnaire

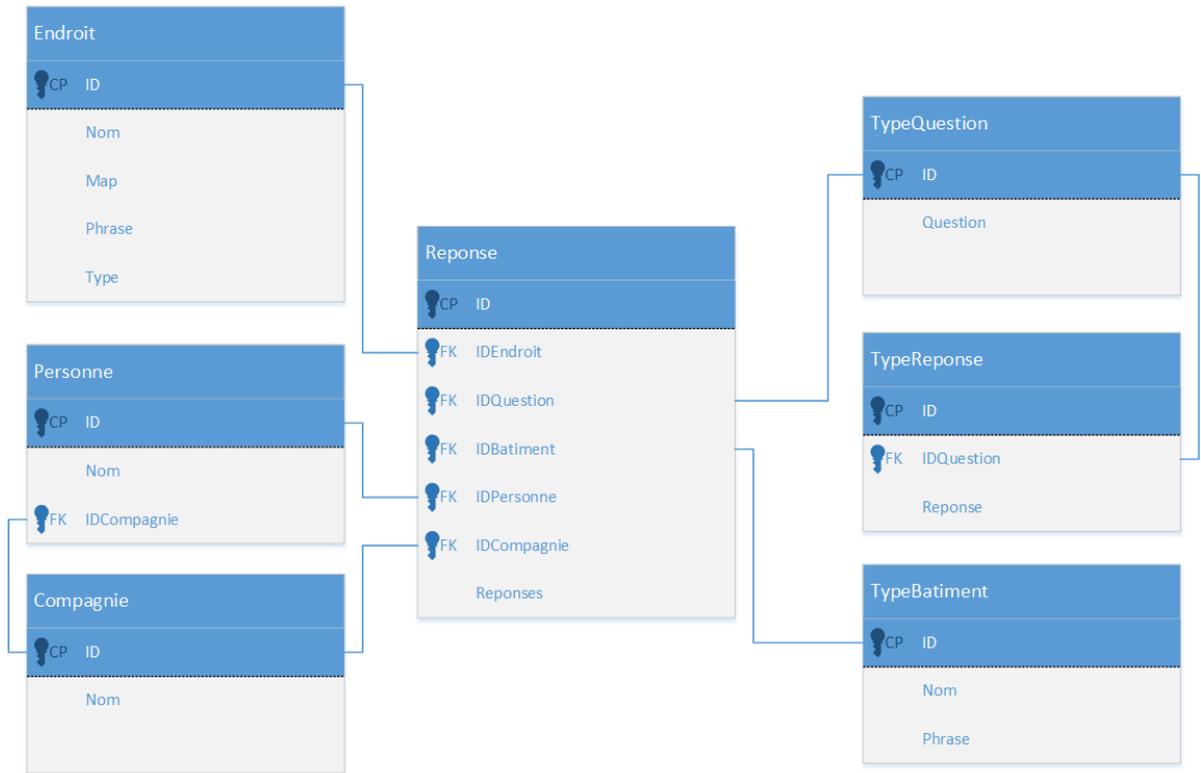


Figure-A V-1 - Modèle de base de données du questionnaire

Tableau-A V-1 - Table Endroit

Attribut	Type	Description
ID	Int	Clé primaire
Nom	Text	Nom de l'endroit
Map	Text	Localisation de l'endroit
Phrase	Text	Texte à intégrer dans la question
Type	Text	Type d'endroit (ville ou province)

Tableau-A V-2 - Table Compagnie

<b>Attribut</b>	<b>Type</b>	<b>Description</b>
ID	Int	Clé primaire
Nom	Text	Nom de la compagnie

Tableau-A V-3 - Table Personne

<b>Attribut</b>	<b>Type</b>	<b>Description</b>
ID	Int	Clé primaire
Nom	Text	Nom de l'utilisateur
IDCompagnie	Int	Clé étrangère

Tableau-A V-4 - Table Réponse

<b>Attribut</b>	<b>Type</b>	<b>Description</b>
ID	Int	Clé primaire
IDEndroit	Int	Clé étrangère
IDQuestion	Int	Clé étrangère
IDBatiment	Int	Clé étrangère
IDPersonne	Int	Clé étrangère
IDCompagnie	Int	Clé étrangère
Reponses	Int	Nombre de réponses de l'utilisateur

Tableau-A V-5 - Table Question

<b>Attribut</b>	<b>Type</b>	<b>Description</b>
ID	Int	Clé primaire
Question	Text	Texte de la question

Tableau-A V-6 - Table TypeReponse

<b>Attribut</b>	<b>Type</b>	<b>Description</b>
-----------------	-------------	--------------------

ID	Int	Clé primaire
IDQuestion	Int	Clé étrangère
Reponse	Text	Texte de la réponse

Tableau-A V-7 - Table TypeBatiment

<b>Attribut</b>	<b>Type</b>	<b>Description</b>
ID	Int	Clé primaire
Nom	Text	Type de bâtiment (Duplex, Immeuble)
Phrase	Text	Texte à afficher dans la question

## BIBLIOGRAPHIE

- April, Alain. [s.d.]. « ÉTS - Accueil ». En ligne. < <http://etsmtl.ca/Professeurs/aapril/Accueil> >. Consulté le 24 mars 2014
- April, Alain. [s.d.]. « ÉTS - Projet de recherche en Construction ». En ligne. < <http://etsmtl.ca/Professeurs/aapril/Projets-de-recherche-en-Construction> >. Consulté le 07 juin 2015.
- Autodesk. [s.d.]. « Logiciel de conception de bâtiment | Famille Revit ». En ligne. < <http://www.autodesk.fr/products/revit-family/overview> >. Consulté le 20 mars 2014.
- Autodesk. [s.d.]. « Qu'est-ce que BIM ? | Modélisation des données du bâtiment ». En ligne. < <http://www.autodesk.fr/solutions/building-information-modeling/overview> >. Consulté le 1er mai 2015.
- CCA-AAC. [s.d.]. « CCA-ACC ». En ligne. < <http://www.cca-acc.com/fr/> >. Consulté le 15 mars 2015.
- CCQ. [s.d.]. « L'industrie de la construction ». En ligne. < [http://www.ccq.org/fr-CA/GrandPublic/B\\_IndustrieConstruction](http://www.ccq.org/fr-CA/GrandPublic/B_IndustrieConstruction) >. Consulté le 15 mars 2015.
- CDC. [s.d.]. « Construction de Défense Canada - Modélisation des données du bâtiment ». En ligne. < [https://www.dcc-cdc.gc.ca/francais/pr\\_bim.html](https://www.dcc-cdc.gc.ca/francais/pr_bim.html) >. Consulté le 1er mai 2014.
- developpez.com. [s.d.]. « Developpez.com ». En ligne. < <http://www.developpez.com/> >. Consulté le 14 avril 2014.
- FreeCAD. [s.d.]. « FreeCAD ». En ligne. < <http://www.freecadweb.org/> >. Consulté le 20 mars 2014.
- gamedev.net. [s.d.]. « GameDev.net Game Development Community ». En ligne. < <http://www.gamedev.net> >. Consulté le 14 avril 2014.
- Maneu, Christopher. 2007. « Commencer à développer avec le framework symfony ». En ligne. < <http://c-maneu.developpez.com/tutorial/web/php/symfony/intro/> >.
- Metier-quebec. [s.d.]. « Ingénieur en construction ou bâtiment ». En ligne. < [http://www.metiers-quebec.org/batiment/ing\\_construction.htm](http://www.metiers-quebec.org/batiment/ing_construction.htm) >. Consulté le 20 juin 2014.

- MonoDevelop. [s.d.]. « MonoDevelop ». En ligne. . < <http://www.monodevelop.com/> >. Consulté le 15 juin 2014.
- openclassrooms.com. [s.d.]. « Openclassrooms, des MOOC et cours accessibles à tous ». En ligne. < <https://openclassrooms.com> >. Consulté le 14 avril 2014.
- Perreault-Labelle, Anick. 2012. « Trop de métiers dans la construction ? ». En ligne. < <http://www.jobboom.com/carriere/trop-de-metiers-dans-la-construction/> >. Consulté le 5 mai 2015.
- Pomerleau. [s.d.]. « Pomerleau - Construction Entrepreneur ». En ligne. < <http://www.pomerleau.ca/construction-entrepreneur/index.aspx> >. Consulté le 1er mai 2014.
- Qcad. [s.d.]. « Qcad - 2D CAD for Windows ». En ligne. < <http://www.qcad.org/fr/> >. Consulté le 20 mai 2014.
- stackoverflow.com. [s.d.]. « Stack Overflow ». En ligne. < <http://stackoverflow.com/> >. Consulté le 14 avril 2014.
- Unity3D. [s.d.]. « Asset Store ». En ligne. < <https://www.assetstore.unity3d.com> >. Consulté le 25 juin 2014.
- Unity3D. [s.d.]. « Unity - Editor ». En ligne. < <https://unity3d.com/unity/editor.> >. Consulté le 30 mars 2014.
- Unity. [s.d.]. « Unity - Manual: Execution Order of Event Functions ». En ligne. < <http://docs.unity3d.com/Manual/ExecutionOrder.html> >. Consulté le 11 août 2014.
- Vialatte, Philippe. 2009. « Aperçu d'ASP.NET MVC ». En ligne. < <http://dotnet.developpez.com/mvc/aperçu-asp-net-overview/> >.
- WampServer. [s.d.]. « WampServer, la plate-forme de développement Web sous Windows ». En ligne. < <http://www.wampserver.com/> >. Consulté le 1er mai 2014.
- wiki.unity3D.com. [s.d.]. « Unity Community Wiki ». En ligne. < <http://wiki.unity3d.com/> >. Consulté le 14 avril 2014.
- Wikipedia. [s.d.]. « Building Information Modeling ». En ligne. < [https://fr.wikipedia.org/wiki/Building\\_Information\\_Modeling](https://fr.wikipedia.org/wiki/Building_Information_Modeling) >. Consulté le 2 mai 2014.

- Wikipedia. [s.d.]. « Chef de chantier ». En ligne. < [https://fr.wikipedia.org/wiki/Chef\\_de\\_chantier](https://fr.wikipedia.org/wiki/Chef_de_chantier) >. Consulté le 20 juin 2014.
- Wikipedia. [s.d.]. « Construction ». En ligne. < <https://fr.wikipedia.org/wiki/Construction> >. Consulté le 20 juin 2014.
- Wikipedia. [s.d.]. « FreeCAD ». En ligne. < <https://fr.wikipedia.org/wiki/FreeCAD> >. Consulté le 20 mai 2014.
- Wikipedia. [s.d.]. « Génie civil ». En ligne. < [https://fr.wikipedia.org/wiki/Génie\\_civil](https://fr.wikipedia.org/wiki/Génie_civil) >. Consulté le 20 juin 2014.
- Wikipedia. [s.d.]. « Liste des logiciels CAO pour l'architecture, l'ingénierie et la construction ». En ligne. < [https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste\\_des\\_logiciels\\_CAO\\_pour\\_l'architecture,\\_l'ingénierie\\_et\\_la\\_construction](https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_logiciels_CAO_pour_l'architecture,_l'ingénierie_et_la_construction) >. Consulté le 2 mai 2014.
- Wikipedia. [s.d.]. « Modèle-vue-contrôleur ». En ligne. < <https://fr.wikipedia.org/wiki/Modèle-vue-contrôleur> >. Consulté le 6 mai 2015.
- Wikipedia. [s.d.]. « Revit ». < <https://fr.wikipedia.org/wiki/Revit> >. Consulté le 2 mai 2014.
- Wikipedia. [s.d.]. « Scrum (méthode) ». En ligne. < [https://fr.wikipedia.org/wiki/Scrum\\_\(méthode\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Scrum_(méthode)) >. Consulté le 12 avril 2014.
- Wikipedia. [s.d.]. « Unity (moteur de jeu) ». En ligne. < [https://fr.wikipedia.org/wiki/Unity\\_\(moteur\\_de\\_jeu\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Unity_(moteur_de_jeu)) >. Consulté le 30 mars 2014.