



**HAL**  
open science

# Traiter la durabilité sociale avec le BIM : Enquête sur l'acceptabilité des usages BIM pour la durabilité sociale auprès des concepteurs du projet d'architecture

Elodie André

## ► To cite this version:

Elodie André. Traiter la durabilité sociale avec le BIM : Enquête sur l'acceptabilité des usages BIM pour la durabilité sociale auprès des concepteurs du projet d'architecture. Sciences de l'information et de la communication. Université Polytechnique Hauts-de-France; Université de Mons, 2023. Français. NNT : 2023UPHF0033 . tel-04471490

**HAL Id: tel-04471490**

**<https://theses.hal.science/tel-04471490>**

Submitted on 21 Feb 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Thèse de doctorat**  
**Pour obtenir le grade de Docteur de**  
**l'UNIVERSITÉ POLYTECHNIQUE HAUTS-DE-FRANCE**  
**et de l'INSA HAUTS-DE-FRANCE**  
**et de l'UNIVERSITÉ DE MONS**

**Sciences de l'Information et de la Communication (71<sup>ème</sup> section CNU)**

**Présentée et soutenue par Elodie ANDRE.**

**Le 19 décembre 2023, à l'Université de Mons**

**École doctorale :**

École Doctorale Polytechnique Hauts-de-France (ED PHF n°635)  
Ecole Doctorale Université de Mons

**Unité de recherche :**

Laboratoire de Recherche Sociétés & Humanités (LARSH)

**Traiter la durabilité sociale avec le BIM**

**Enquête sur l'acceptabilité des usages BIM pour la durabilité sociale auprès  
des concepteurs du projet d'architecture**

**JURY**

**Présidente du jury**

- GUERRIERO, Annie. Ingénieure de recherche. Luxembourg Institute of Science and Technology

**Rapporteurs**

- CHAUDET, Bruno. Maître de conférences HDR. Université de Rennes 2.  
- REZGUI, Yacine. Professeur. Université de Cardiff.

**Examineurs**

- BECUE, Vincent. Professeur. Université de Mons.  
- ELSÉN, Catherine. Professeure. Université de Liège.

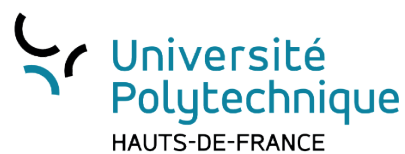
**Co-directrice de thèse :** BOULEKBACHE, Hafida. Professeure. Université Polytechnique des Hauts-de-France

**Co-directeur de thèse :** GALLAS, Mohamed-Anis. Chargé de cours. Université de Mons



Cette thèse est issue d'une collaboration en cotutelle entre  
la Faculté d'Architecture de l'Université de Mons en Belgique,  
et le laboratoire LARSH, département DeVisu, de l'Université Polytechnique des Hauts-de-  
France en France

Les organismes ayant participé au financement de ce travail sont l'Université de Mons,  
l'Université Polytechnique des Hauts-de-France, l'Institut Numédiart (UMONS) et le  
Service de Conception Architecturale (UMONS)



Traiter la durabilité sociale avec le BIM : Enquête sur l'acceptabilité des usages BIM pour la durabilité sociale auprès des concepteurs du projet d'architecture © 2023 by Elodie André is licensed under CC BY-NC-SA 4.0. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



## RÉSUMÉ

Le travail réalisé au cours de cette thèse est le fruit d'une cotutelle entre la Faculté d'Architecture de l'Université de Mons et le laboratoire LARSH de l'Université Polytechnique des Hauts-de-France. Plusieurs constats sont sources de la recherche développée dans ce document.

En premier lieu, nous avons constaté que la durabilité sociale était souvent traitée de manière secondaire, ou à travers la durabilité économique et écologique, et ce y compris dans le milieu de la construction. Nous avons ensuite établi une approche de la définition de durabilité sociale dans la construction, et constaté que les mots-clés s'y reliant étaient le bien-être, le confort, la sécurité... Cependant, l'un des rôles du concepteur est de réaliser des projets offrant justement ces critères à leurs occupants. Ils sont donc enclins à accorder une attention particulière à la durabilité de leurs projets, y compris la durabilité sociale. Dès lors, comment les concepteurs se positionnent-ils face au à ce déséquilibre ? Ce contraste nous mène à nos premières questions de recherche : « Les concepteurs intègrent-ils la durabilité sociale à leur vision de l'architecture durable ? » et « Comment les concepteurs définissent-ils la durabilité sociale ? ». Pour répondre à ces questions, nous avons réalisé une enquête qualitative auprès d'acteurs de la construction opérant en phase de conception.

En deuxième lieu, à la suite du constat que d'une part, la durabilité sociale était moins souvent prise en compte que la durabilité économique et écologique et que d'autre part, les processus de Building Information Modeling (BIM) prenaient une place de plus en plus incontournable dans les projets, tout en présentant une bonne capacité d'efficacité dans la gestion des informations, nous nous sommes questionnés sur les possibilités d'interactions entre ces deux concepts. Nous avons observé que des interactions fortes existaient entre le concept de BIM et de durabilité, en particulier de durabilité écologique. En effet, la notion de Green BIM regroupe les différents liens qui existent entre ces deux thématiques. Cependant, nous avons à nouveau observé moins d'interactions avec la durabilité sociale, ce qui nous a mené aux questions suivantes : « Comment peut-on utiliser le BIM pour améliorer la durabilité sociale des projets ? » et « Les concepteurs sont-ils prêts à accepter d'utiliser le BIM pour répondre à des questions de durabilité sociale ? ».

Pour répondre à ces questionnements, nous avons fait appel au domaine de l'étude des usages, qui a pour objectif de prédire l'utilisation d'une nouvelle technologie mise à disposition des utilisateurs (Terrade et al., 2010). Dans ce travail, nous étudions l'utilité perçue et l'acceptation sociale de différents usages BIM dans un contexte de durabilité sociale. Notre étude de l'utilité des usages BIM dans un contexte de durabilité sociale s'est matérialisée par un tableau de synthèse reprenant cinq catégories d'usages BIM pour la durabilité sociale. Pour chacun de ces critères, nous avons listé des usages pour lesquels le BIM pouvait présenter une plus-value. Notre étude de l'acceptation sociale de ces usages a été réalisée à travers une enquête qualitative composée d'entretiens semi-directifs. Nous avons utilisé une posture constructiviste et inductive pour analyser ces entretiens, ce qui nous a permis de dégager des modèles d'attentes, de freins et de conditions concernant l'acceptation des usages BIM pour la durabilité sociale par les concepteurs de projet. Cela nous a permis de compléter notre approche théorique des croisements entre BIM et durabilité sociale.

**Mots-clés :** BIM, Durabilité sociale, Etude des usages, Développement durable

## ABSTRACT

The work carried out in the course of this thesis is the result of a joint project between the Faculty of Architecture at the University of Mons and the LARSH laboratory at the Polytechnic University of Hauts-de-France. The research developed in this document is based on the following observations.

Firstly, we found that social sustainability was often treated as a secondary issue, or through economic or ecological sustainability, including in the construction sector. We then drew up an approach to the definition of social sustainability in construction, and found that the key words related to it were well-being, comfort, safety, etc. However, one of the roles of the designer is to produce projects that offer precisely these criteria to their occupants. They are therefore inclined to pay particular attention to the sustainability of their projects, including social sustainability. So how do designers position themselves in the face of this imbalance ? This contrast leads us to our first research questions : "Do designers integrate social sustainability into their vision of sustainable architecture ? and "How do designers define social sustainability ?" To answer these questions, we carried out a qualitative survey of construction players operating in the design phase.

Secondly, following the observation that, on the one hand, social sustainability was less often taken into account than economic and ecological sustainability, and that, on the other hand, Building Information Modeling (BIM) processes were taking on an increasingly essential role in projects, while at the same time presenting a good capacity for efficiency in the management of information, we wondered about the possible interactions between these two concepts. We observed that there were strong interactions between the concept of BIM and sustainability, particularly ecological sustainability. Indeed, the notion of Green BIM brings together the various existing links between these two themes. However, we again observed fewer interactions with social sustainability, which led us to the following questions : "How can BIM be used to improve the social sustainability of projects ?" and "Are designers prepared to accept the use of BIM to address social sustainability issues ?".

To answer these questions, we turned to the field of usage studies, which aims to predict the use of a new technology made available to users (Terrade et al., 2010). In this work, we study the perceived usefulness and social acceptance of different BIM uses in a context of social sustainability. Our study of the usefulness of BIM uses in a context of social sustainability took the form of a summary table showing five categories of BIM uses for social sustainability. For each of these criteria, we listed uses for which BIM could offer added value. Our study of the social acceptance of these uses was carried out through a qualitative survey consisting of semi-structured interviews. We used a constructivist and inductive posture to analyse these interviews, which enabled us to identify models of expectations, obstacles and conditions concerning the acceptance of BIM uses for social sustainability by project designers. This enabled us to complete our theoretical approach to the intersections between BIM and social sustainability.

**Key-words** : BIM, Social sustainability, User acceptance, Sustainable development

## REMERCIEMENTS

La thèse est un chemin plein de doutes, de questionnements et de remises en question. Malgré le fait qu'elle soit souvent solitaire, elle est source de liens forts. La thèse est un travail d'équipe, et à ce titre j'aimerais remercier quelques personnes qui ont rendu cet aboutissement possible.

Tout d'abord, j'aimerais remercier les membres du jury qui ont accepté d'évaluer mon travail. Je vous remercie pour nos échanges, qui ont permis d'améliorer et de nuancer le manuscrit.

Pour avoir contribué au financement de ce travail, en plus des trois ans et quatre mois assurés par l'UMons et l'UPHF, merci au service Conception Architecturale de la FAU pour les deux mois de financement et à l'Institut Numédiart pour la bourse de trois mois de financement.

Je remercie également mes deux directeurs de thèse, qui, chacun à leur manière, m'ont apporté énormément et ont rendu cette expérience tellement plus agréable. Hafida, merci pour les séances de psy par téléphone. Merci d'avoir veillé à ce que je reste motivée, merci pour les macarons, merci pour ton appui à Devisu. Anis, merci pour le soutien en continu, parfois quotidien. Merci pour le Céline Dion au karaoké (oui je balance), pour la tonne de repas partagés, pour les mousseux sans alcool, pour les coups de boost quand j'en avais besoin et pour ta disponibilité tout au long du processus. Merci à vous deux de m'avoir proposé de travailler avec vous et d'avoir cru en moi, de m'avoir fait confiance. Sans vous, ce document n'existerait pas aujourd'hui.

La cotutelle peut parfois être semée d'embûches, elle présente tout de même l'avantage d'appartenir à deux institutions et donc d'avoir deux fois plus de chance de rencontrer des gens extraordinaires.

A Devisu, j'ai eu la chance de croiser la route de Virginie, Dounia, Ximena, Mathieu, Marine T, Marine L, ... Merci pour les fous rires dans la cuisine, pour les restos, pour l'entraide technique et administrative, pour les partages d'astuces organisationnelles (Virginie et Ximena, vous m'avez ouvert un nouveau monde !). Merci également à tous les chercheurs avec qui j'ai pu échanger sur place, notamment Smaïl, Daniel, Eric, Sylvie, Michel ... et qui ont toujours été généreux en conseils et en partage d'expérience. Grâce à vous tous et à votre accueil, j'ai pu me sentir à ma place au labo.

A la fac d'archi, plusieurs personnes m'ont inspirée également. Alexis, Larissa, Fabrice, Anne-Laurence, Louise, ... merci pour les discussions à midi, les conseils, l'entraide. Marianne, merci pour ta capacité à aller droit au but, qui m'a grandement inspirée pour arrêter de tourner en rond au moment où j'en avais besoin. Adeline, merci pour les cookies, tes gâteaux (j'en rêve encore), pour les partages de galères et les longues discussions avec Emeline. Merci à vous tous, pour les verres en terrasse, pour tous les bons moments et pour la source de motivation que ça a été de vous voir soutenir vos thèses tout au long de cette dernière année. Merci à Pascal et Gregorio pour les échanges, les partages de contacts, et le point de vue concret sur la pratique professionnelle. Merci également à mes deux stagiaires, Anaïs pour la retranscription d'une partie des entretiens et Anaëlle

pour ton aide précieuse lors des analyses et pour ta motivation sans faille. Vous m'avez toutes les deux soulagée d'une belle quantité de travail, et ça a été très chouette de travailler avec vous deux.

En cotutelle comme moi, un merci particulier à Veronica, qui a vécu avec moi tout ce que je décris ci-dessus, et à Emeline, qui a été d'un soutien immense et dont la bienveillance fait la force.

Merci aussi à tous les membres du collectif ArchiRuptures, pour m'avoir montré qu'on pouvait faire rimer Sciences et Sens, pour les moments de partages et pour la belle expérience que ça a été d'organiser un colloque sur un sujet qui nous a tous fait vibrer.

Au cours des moments de travail sont aussi parsemés des moments de détente. Pour cela, merci à vous qui m'avez aidée à sortir de l'université de temps en temps, aux amis qui m'ont particulièrement encouragée ces dernières semaines (Marine, Alexis, Chloé), à ma famille qui n'a probablement pas toujours compris pourquoi je faisais ça mais qui a assurément toujours cru en moi (même quand moi je n'y croyais pas), et ce peu importe les projets que j'ai entrepris. Merci à ma grand-mère, à mon grand-père et à ma marraine pour avoir veillé à ce que je mange des légumes, même quand je n'avais plus le temps de les cuisiner. Merci papa pour le soutien que tu m'as apporté à ta façon. Merci à Quentin et Thomas, mes frères, pour les soirées jeux de société et les promenades avec le chien. Merci maman, pour toujours répondre présente quand j'ai besoin de toi et pour ton soutien sans faille, en particulier ces dernières semaines.

Enfin, merci à toi Adrien. Pour avoir été là tous les jours depuis le début de ce projet, avoir vécu avec moi les hauts et les bas, m'avoir portée quand il fallait, pour avoir géré tout ce que je ne pouvais plus gérer ces derniers mois. Merci aussi pour ta patience, car cette aventure tu ne l'as pas choisie mais tu l'as subie avec moi, et tu as vécu la mise sur pause que cela a généré dans nos projets sans jamais t'en plaindre. Comme tu l'as souvent dit, tu es mon premier supporter.

A vous tous, qui m'avez soutenue, appelée pour savoir comment j'allais, à celles qui m'ont cuisiné des petits plats pour me laisser plus de temps de travail, à toutes les personnes qui m'ont accompagnée et envoyé leurs encouragements ces derniers mois, c'est à vous que je dédie cette thèse.



# TABLE DES MATIÈRES

Résumé .....	4
Abstract .....	5
Remerciements.....	6
Table des matières .....	8
Lexique.....	12
INTRODUCTION .....	14
Contexte de la recherche .....	16
Objectifs de la recherche et hypothèses.....	17
Méthode de recherche .....	17
Déroulé du manuscrit.....	18
PARTIE 1 : CONTEXTUALISATION.....	19
Chapitre 1 : Contextualisation d'une profession en transition .....	19
1.1 La transition durable, concept général et enjeux en architecture .....	20
1.1.1 Durable, soutenable ou résilient ?.....	20
1.1.2 Prise de conscience.....	21
1.1.3 Evolution du concept de la durabilité.....	23
1.1.4 Synthèse.....	28
1.2 La transition numérique dans la conception architecturale .....	29
1.2.1 La transition numérique, évolution dans les pratiques architecturales.....	29
1.2.2 1 <sup>er</sup> tournant digital : de l'outil physique à l'outil numérique.....	31
1.2.3 2 <sup>ème</sup> tournant digital : évolution des processus de conception .....	41
1.3 Conclusion du chapitre .....	49
Chapitre 2 : Définitions – Architecture durable, durabilité sociale et BIM.....	50
2.1 Définition de l'architecture durable, une approche transdisciplinaire.....	50
2.1.1 L'architecture durable à travers les Objectifs de Développement Durable.....	52
2.1.2 L'architecture durable à travers les approches définitionnelles des auteurs du début des années 2000 à aujourd'hui .....	54
2.1.3 L'architecture durable franco-belge à travers les stratégies favorisant la durabilité .....	57
2.1.4 Synthèse.....	62
2.2 Définition de la durabilité sociale dans un contexte d'architecture durable.....	63

2.2.1 Principes de la durabilité sociale .....	64
2.2.2 Relations entre la ville et la durabilité sociale .....	69
2.2.3 Critères de durabilité sociale dans la pratique de l'architecture .....	75
2.2.4 Synthèse.....	78
2.3 Définition de la notion de BIM.....	79
2.3.1 Facette 1 : la gestion des informations.....	80
2.3.2 Facette 2 : la collaboration .....	81
2.3.3 Facette 3 : la maquette numérique.....	83
2.3.4 Les limites du BIM.....	85
2.3.5 Synthèse.....	87
2.4 Conclusion du chapitre .....	88
PARTIE 2 : ETUDE DES USAGES.....	89
Chapitre 3 : Cadre théorique de l'étude des usages .....	89
3.1 Cadre théorique de l'étude des usages .....	90
3.2 Application sur les usages BIM.....	93
3.2.1 Les usages BIM dans la pratique architecturale .....	93
3.2.2 Usages du BIM pour la durabilité à travers le concept de Green BIM.....	97
3.3 Conclusion du chapitre .....	103
Chapitre 4 : Etude de l'utilité des usages BIM favorisant la prise en compte de la durabilité sociale dans les projets d'architecture.....	104
4.1 Sécurité.....	106
4.2 Confort des usagers .....	109
4.3 Processus d'apprentissage pour les étudiants et les professionnels de la construction .....	113
4.4 Patrimoine culturel.....	116
4.5 Communication .....	119
4.5.1 Communication entre les acteurs du projet .....	119
4.5.2 Communication avec les usagers .....	121
4.6 Synthèse des usages BIM pour la durabilité sociale .....	125
PARTIE 3 : ACCEPTABILITE DES USAGES BIM POUR LA DURABILITE SOCIALE.....	127
Chapitre 5 : Méthodologie de l'étude.....	127
5.1 Construction du protocole.....	129
5.2 Choix de la méthode d'enquête .....	133
5.3 Choix de la méthode d'analyse.....	135
5.3.1 La classification des usages .....	135
5.3.2 L'exhaustivité des réponses récoltées.....	137

5.3.3 La disparité des réponses récoltées.....	138
5.3.4 Synthèse.....	139
5.4 Traitement du matériau récolté.....	140
5.4.1 Première étape de traitement : Préparation du matériau.....	141
5.4.2 Deuxième étape de traitement : Micro-analyse.....	143
5.4.3 Troisième étape : Codage axial des propriétés et organisation des étiquettes ...	144
5.5 Saturation des informations.....	148
Chapitre 6 : Enquête partie 1 - Quelle est la place de la durabilité sociale dans la représentation que se font les concepteurs de l'architecture durable ?.....	150
6.1 Profils cibles.....	151
6.2 Guide d'entretien.....	152
6.3 Première question : définition de l'architecture durable.....	154
6.3.1 Critères ayant trait à la durabilité écologique et à la durabilité dans le temps.....	155
6.3.2 Critères ayant trait à la durabilité sociale.....	162
6.3.3 Synthèse.....	165
6.4 Deuxième question : interactions entre BIM et architecture durable.....	167
6.4.1 Critères ayant trait à la durabilité écologique, économique ou à la durabilité dans le temps.....	167
6.4.2 Critères ayant trait à la durabilité sociale.....	173
6.4.3 Synthèse.....	176
6.5 Troisième question : définition de la durabilité sociale.....	178
6.5.1 Difficulté des répondants.....	178
6.5.2 Critères de durabilité sociale.....	179
6.5.3 Synthèse.....	184
6.6 Discussion des résultats de la première partie.....	186
Chapitre 7 : Enquête partie 2 - Entretien avec les concepteurs sur leur perception des usages du BIM dans un contexte de construction socialement durable.....	188
7.1 Profils cibles.....	189
7.2 Guide d'entretien.....	191
7.3 Identification de nouveaux usages.....	193
7.4 Acceptation des usages BIM pour la durabilité sociale par les concepteurs.....	195
7.4.1 Les attentes des concepteurs.....	197
7.4.2 Les freins identifiés par les concepteurs.....	211
7.4.3 Les conditions perçues par les concepteurs.....	226
7.4.4 Synthèse.....	238
7.5 Le rôle des technologies numériques.....	239
7.5.1 Communiquer.....	241

7.5.2 Connecter .....	244
7.5.3 Assister .....	246
7.5.4 Synthèse.....	248
7.6 Le sentiment de responsabilité des concepteurs .....	250
7.7 Discussion des résultats de la deuxième partie .....	251
CONCLUSION GENERALE.....	256
Apports de la recherche .....	256
La durabilité sociale et l'architecture durable, vues par les concepteurs .....	256
Les usages BIM au service de la durabilité sociale .....	258
Limites de la recherche .....	259
Récouter la parole des concepteurs.....	259
Choisir la bonne méthodologie d'enquête .....	260
Maturité numérique du secteur .....	261
Actualisation des études couvrant la période 2018-2023 .....	261
Perspectives de la recherche .....	261
Table des figures .....	263
Table des tableaux .....	266
Bibliographie .....	267

## LEXIQUE

ACV : Analyse du Cycle de Vie

BDS : Building Description System

BIM : Building Information Modeling

BREEAM : Building Research Establishment Environmental Assessment Method

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

CAQDAS : Computer Assisted Qualitative Data Analysis Software

CEM : Conception à l'Écoute du Marché

CIM : City Information Modeling

DAO : Dessin Assisté par Ordinateur

EBAHIE : Écoute des Besoins et Attentes et leur Hiérarchisation

GOLIATH : Goal Oriented Layered system for Inter-operable Activities of Things

HBIM : Historical Building Information Modeling

IA : Intelligence Artificielle

LEED : Leadership in Energy and Environmental Design

LIST : Luxembourg Institute of Science and Technology

MCSA : Measurement of the City from Social Aspects

MO : Maître d'Ouvrage

MTE : Méthodologie de la Théorisation Enracinée

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économique

ODD : Objectifs de Développement Durable

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PEB : Performance Énergétique des Bâtiments

PLM : Product Lifecycle Management

PMR : Personne à Mobilité Réduite

QZEN : Quasi Zéro Énergie

RE : Réglementation Environnementale

RT : Réglementation Thermique

SBA : Smart Building Alliance

SLCA : Social Life Cycle Assessment

TAM : Technologie de l'acceptation des modèles

TAR : Théorie de l'Action Raisonnée

TCP : Théorie du Comportement Planifié

TOTEM : Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials

# INTRODUCTION

Depuis les années 1970, deux transitions majeures se produisent : la transition numérique et la transition environnementale (André et al., 2020). Cette double transition, qui concerne toute la société, se fait ressentir également dans la communauté des architectes et plus globalement dans le milieu de la construction. En effet, ces deux transitions ont chacune impacté à leur manière les pratiques des concepteurs de projets d'architecture.

D'une part, la transition numérique a été accompagnée par la mise sur le marché d'un nombre croissant d'outils numériques. Ces derniers permettent d'œuvrer vers des pratiques de plus en plus orientées vers des processus d'automatisation, ce qu'on observe par exemple déjà à travers des fonctions simples comme le copier/coller, ou la récupération d'informations issues de projets précédents. Les outils numériques permettent également aux concepteurs de mettre en œuvre des processus d'anticipation via des calculs de simulations concernant les performances du bâtiment. Cela permet de modéliser un aperçu du comportement du bâtiment, avant que ce dernier ne soit construit. Par conséquent, l'adoption de ces nouveaux outils et leur intégration dans les processus de conception entraînent parfois des changements de paradigmes qui modifient les possibilités d'organisation du travail, ainsi que les interactions entre les acteurs du projet.

D'autre part, pour répondre aux enjeux de la transition environnementale, de nouvelles normes liées aux performances et à la consommation énergétique des bâtiments se font de plus en plus présentes. Ces normes tiennent compte d'aspects environnementaux de plus en plus variés, dans une logique d'approches multicritères. Elles s'expriment au travers de conditions et de référentiels auxquels il faut répondre pour obtenir un label ou une réglementation. Dans ce contexte, la notion de performance devient incontournable. Et pour atteindre ces performances, le concepteur est amené à les anticiper via des simulations et via l'étude d'indicateurs spécifiques à la norme à atteindre.

La prise en compte des enjeux environnementaux n'est pas toujours bien accueillie par les acteurs de la conception, comme l'illustre une étude réalisée auprès de 27 concepteurs par Matthieu Adam. Dans son enquête, la plupart des sujets interrogés montrent une adhésion aux valeurs prônées par la construction durable (Adam, 2017), mais ils témoignent également de mal vivre ce que Philippe Hamman appelle l'« *injonction au développement durable* » (Hamman, 2014). Matthieu Adam observe que la hausse continue des exigences environnementales fatigue, et qu'en parallèle les concepteurs dévoilent un scepticisme face aux référentiels proposés. En d'autres termes, certains concepteurs ne croient pas aux normes durables, et considèrent que ce n'est pas parce que le bâtiment est labellisé qu'il est réellement durable. De plus, la construction durable est vue comme une charge mentale supplémentaire à charge des concepteurs, qui s'exprime au détriment de la qualité des espaces. Cette perte de qualité perçue par les acteurs est provoquée entre autres par l'apparition de difficultés dans les processus de communication, entre des acteurs qui sont de plus en plus spécialisés, avec une vision très technique (Adam, 2017). Car dans un contexte de construction durable, le nombre d'interlocuteurs augmente (Abrassart, 2011), et il devient difficile pour chaque acteur d'être conscient des problématiques et contraintes des autres acteurs avec lesquels il collabore.

Tant dans la transition numérique que dans la transition durable, les modes de conception et les méthodes de travail ont fortement été impactés pour les concepteurs de projets architecturaux.

De plus ces formes d'injonction au progrès environnemental et au numérique ne sont pas toujours bien accueillies auprès des professionnels (Adam, 2017).

Cependant, de nombreux pays ont inclus le BIM dans le cadre d'une stratégie nationale (Kassem & Succar, 2017; Mustaffa et al., 2017; P. Smith, 2014; Wortmann et al., 2015), considérant que son utilisation offre plus d'avantages que d'inconvénients pour le secteur de la construction (Umar, 2021). Par ailleurs, la recherche scientifique sur le sujet a augmenté de manière exponentielle entre 2006 et 2017, particulièrement en Europe, en Asie et en Amérique du Nord (Saka & Chan, 2019). Charles Eastman, architecte pionnier de la Conception Assistée par Ordinateur (CAO) et créateur du premier système de description numérique des bâtiments, estimait en 2018 que les pratiques numériques dans le milieu de la construction tendront à s'intensifier au cours des décennies à venir, y compris les pratiques BIM (C. M. Eastman et al., 2018).

En parallèle de cette progression, il est désormais de notoriété publique que la durabilité des projets de construction doit être améliorée le plus possible pour que le parc bâti soit résilient face aux changements climatiques qui sont en cours (IPPC, 2022). En 1972, la communauté scientifique alerte déjà sur l'impact que nos actions ont sur notre environnement (Meadows et al., 1972). Plusieurs champs d'actions s'ouvrent à nous pour agir, et parmi eux celui de la construction tient une place de choix. En 2018, la construction était le 5ème poste le plus lourd dans la balance de l'empreinte carbone des Français, et les émissions directes des ménages liées au logement était le 6ème poste recensé (Figure 1) (Janin & Blivet, 2020).

Dans ce contexte, où les pratiques numériques prennent de l'ampleur et où les enjeux environnementaux et sociaux sont particulièrement d'actualité, nous souhaitons par notre travail questionner les liens qui existent entre les deux thématiques. Dans cette optique, nous explorerons les projets de construction utilisant des processus numériques, en particulier des processus BIM, afin de vérifier s'ils peuvent profiter de la nature des outils en cours de développement pour augmenter leur potentiel de durabilité, et plus précisément en ce qui concerne la durabilité sociale. En effet, la question de la durabilité sociale est souvent traitée de manière secondaire face au traitement de la durabilité écologique et de la durabilité économique (Soltani, 2016). Pourtant, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a observé qu'un tiers de la population mondiale considère que son bien-être n'a jamais été aussi peu développé qu'aujourd'hui. La même étude constate une augmentation générale des problèmes d'anxiété et de dépression depuis la crise sanitaire COVID-19 (OMS, 2022).





Note : GES pris en compte: CO2, CH4 et N2O.

Champ : France métropolitaine + Drom (périmètre Kyoto).

Sources : Citepa ; AIE ; FAO ; Douanes ; Eurostat ; Insee.

Traitements : SDES, 2019

Figure 1 - Décomposition par produit de l'empreinte carbone de la France en 2018 (Janin & Blivet, 2020)

## Contexte de la recherche

Notre travail s'inscrit dans le cadre d'une cotutelle entre le département en Sciences de l'Information et de la Communication (SIC) DeVisu du laboratoire LARSH, à l'Université Polytechnique des Hauts-de-France en France, et le service Conception Architecturale de la Faculté d'Architecture et d'Urbanisme de l'Université de Mons en Belgique. L'appartenance à ces deux laboratoires est la raison qui nous a amenés à aborder les pratiques BIM sous l'angle des sciences humaines.

Cette recherche trouve son origine dans notre volonté de confronter les transitions numériques et durables en architecture. Au cours de cette première phase d'étude exploratoire, nous avons observé dans la littérature un déséquilibre dans le traitement du sujet de la durabilité sociale dans les approches durables, que nous avons ensuite également observé dans le cadre des pratiques BIM. En effet, la communauté scientifique s'accorde sur le fait que la durabilité sociale est généralement traitée de manière secondaire par rapport aux deux autres piliers de la durabilité (pilier écologique et pilier économique). Cela a orienté la deuxième phase de notre travail, qui a consisté à définir la durabilité sociale en architecture, et plus particulièrement dans le cadre des pratiques BIM. Nous avons d'abord réalisé ce travail sur base de l'étude de la littérature, et nous l'avons ensuite complété par des enquêtes qualitatives auprès de concepteurs de projet.

## **Objectifs de la recherche et hypothèses**

Notre recherche part donc de deux constats issus de notre état de l'art. Premièrement, l'utilisation du BIM dans les projets de construction a pris de l'ampleur depuis les années 2000, s'est immiscé dans les pratiques des architectes, et cela a impacté le processus de conception des bâtiments. Le BIM tend à être de plus en plus utilisé dans les projets d'architecture, en particulier les projets de grande envergure. Deuxièmement, notre étude de la littérature a mis en évidence un déséquilibre entre les trois piliers de la durabilité des projets d'architecture. En effet l'importance accordée à la durabilité sociale semble inférieure à celle accordée aux durabilités économique et écologique.

Nos objectifs sont donc d'une part de vérifier comment les concepteurs de projets perçoivent la durabilité sociale, et s'ils lui accordent une place dans leur définition de la durabilité, et d'autre part d'explorer la façon dont le BIM peut être employé pour améliorer la durabilité des projets, en réalisant un focus sur le concept de la durabilité sociale.

## **Méthode de recherche**

Pour mener cette recherche à bien, nous avons utilisé une méthode exploratoire alternant recherches théoriques et approches par exploration du terrain. Nous avons commencé le travail par des lectures exploratoires afin de cerner les enjeux liés d'une part aux pratiques BIM, et d'autre part à la transition environnementale, dans le secteur de la construction. Ces lectures nous ont amené à constater qu'il existait une différence de traitement en ce qui concerne la durabilité sociale par rapport à la durabilité écologique et économique, et ce y compris dans le secteur de la construction. La problématique que nous étudions découle donc de nos lectures, et nous a amené à questionner des concepteurs œuvrant dans le milieu de la construction afin de comprendre leur appropriation de la durabilité sociale dans un contexte de construction durable, et leur niveau d'acceptation de l'emploi des usages BIM pour améliorer la durabilité sociale des projets. Nous avons recueilli ces informations au moyen d'enquêtes qualitatives réalisées auprès de concepteurs belges et français. La méthode utilisée pour recueillir les témoignages des profils choisis consiste en des entretiens semi-directifs, pour lesquels la construction du guide d'entretien s'inspire de la méthode EBAHIE (Leleu-Merviel, 2008), développée au département DeVisu du laboratoire LARSH, et dont la méthode d'analyse inductive s'inspire des méthodes de la théorisation enracinée (Guillemette & Luckerhoff, 2012; Lejeune, 2019).

## Déroulé du manuscrit

Dans le premier chapitre, nous étudions les transitions numériques et environnementales qui se jouent dans le domaine de la construction. L'objectif est de contextualiser les enjeux liés à ces deux transitions. La première partie est axée sur la transition environnementale. La deuxième partie traite de la transition numérique, notamment de ce que cette dernière a pu apporter à la conception architecturale.

Le deuxième chapitre propose des approches définitionnelles des notions de développement durable, que nous recontextualisons et définissons. Cela nous permet d'élaborer une définition de l'architecture durable et d'ensuite cibler notre approche vers la définition de la durabilité sociale dans les projets d'architecture. Ensuite nous nous focalisons sur le BIM, dont nous donnons une définition à travers ses différentes facettes. En effet, les capacités du BIM en termes de collaboration et de gestion des informations constituent des pistes à explorer pour faire face aux enjeux de la transition environnementale. Enfin nous définissons la notion d'usage BIM, et comment ces usages peuvent être mis au service de bâtiments plus durables.

Le troisième chapitre propose d'étudier le cadre théorique du domaine de l'étude des usages, que nous utilisons pour structurer la progression de ce document. Dans ce chapitre, nous définissons également la notion d'usage dans un contexte de pratiques BIM, ainsi que les différentes approches existantes concernant la mise en pratique des usages BIM dans un objectif de durabilité des projets.

Le quatrième chapitre propose l'étude de six catégories d'usages BIM en lien avec la durabilité sociale des projets. Pour chacune de ces catégories, nous avons développé une liste d'usages à partir d'une méta analyse réalisée en 2019 par Ruben Santos, Antonio Aguiar Costa, José Sylvestre et Lincy Pyl (Santos et al., 2019) et d'une étude réalisée par Tamer El-Diraby, Thomas Krijnen et Manos Papagelis en 2017 (El-Diraby et al., 2017). Nous avons consolidé ces usages à travers des études complémentaires, ce qui nous a permis d'aboutir à une liste d'usages BIM pour la durabilité sociale classés par catégories d'usages.

Le cinquième chapitre développe la méthodologie utilisée pour mener notre étude et nos enquêtes. Dans ce chapitre, qui contient la description du déroulement de nos enquêtes réalisées par entretien semi-directifs, nous exposons la justification des choix que nous avons posés concernant la construction du protocole, le choix de la méthode d'enquête, le choix de la méthode d'analyse, le traitement du matériau récolté et la saturation des informations.

Le sixième chapitre expose les spécificités de la première partie de l'enquête, ainsi que les résultats obtenus. L'objectif de ce chapitre est de définir la place de la durabilité sociale dans les représentations des concepteurs quant à la notion d'architecture durable.

Le septième chapitre expose les spécificités de la deuxième partie de l'enquête, ainsi que les résultats obtenus. L'objectif de ce chapitre est de proposer aux concepteurs la liste des usages identifiés dans le chapitre cinq et d'utiliser une démarche exploratoire et inductive pour construire un modèle relatif à l'acceptation sociale de ces usages par les concepteurs.

# **PARTIE 1 : CONTEXTUALISATION**

La première partie de ce travail est organisée en deux chapitres.

Dans un premier temps, nous étudions le cadre historique et l'évolution du métier de concepteur à travers une analyse du contexte de double transition auquel le secteur de la construction fait face depuis quelques dizaines d'années. A partir de ce contexte nous illustrons à travers le concept de transition durable pourquoi nous avons identifié que la prise en compte des enjeux de la durabilité sociale dans les projets de construction représente un besoin, nécessaire à la participation du secteur de la construction dans une société durable. Ensuite, nous démontrons à l'aide du concept de transition numérique pourquoi la technologie BIM représente un potentiel dans la prise en compte de ces enjeux sociaux dans les projets de construction.

Dans un deuxième temps, nous étudions les définitions de l'architecture durable, de la durabilité sociale afin de préciser le besoin, ainsi que les définitions du Green BIM et du BIM afin de préciser la technologie que nous proposons pour répondre à ce besoin. Nous abordons également le positionnement des concepteurs face au concept d'architecture durable et de durabilité sociale à travers une étude menée auprès d'acteurs de la construction. De cette manière, la contextualisation permet d'identifier l'intégration des enjeux de durabilité sociale dans les projets de construction comme un besoin, et la technologie représentant un potentiel pour y répondre positivement comme étant les processus BIM.

## **CHAPITRE 1 : CONTEXTUALISATION D'UNE PROFESSION EN TRANSITION**

Dans ce chapitre, nous approfondissons le contexte de double transition dans lequel les acteurs de la construction évoluent depuis plusieurs dizaines d'années. Nous organisons cette étude en deux parties. Dans la première partie, nous contextualisons la transition environnementale dans la construction et exposons les raisons qui nous mènent à la conclusion que le traitement de la durabilité sociale est lacunaire dans les pratiques BIM. Dans la seconde, nous réalisons le même travail pour l'intégration du numérique dans le domaine de l'architecture, et comment cette transition a mené à l'implantation du BIM au sein de la communauté des architectes.

## 1.1 La transition durable, concept général et enjeux en architecture

### 1.1.1 Durable, soutenable ou résilient ?

Avant de rentrer dans le vif du sujet, nous souhaitons faire un aparté sur le parti-pris lexical que nous posons en utilisant les termes d' « *architecture durable* » tout au long de ce travail. En effet, l'expression « *développement durable* » est souvent critiquée aujourd'hui, accusée de faire appel à un concept dépassé. Florence Rodhain et Claude Llana la qualifient de mythe (Rodhain & Llana, 2006), y voyant un masque de façade destiné à imposer l'idéologie d'un développement au service des sociétés les plus aisées :

*« Sans doute l'articulation des mots est-elle la clé de tout message. Peut-on, dès lors, considérer que, dans la formule, développement a la valeur du principe et que durable correspond à la règle que celui-ci appelle ? Si telle est la signification de ce rapprochement, nous pouvons en déduire qu'il vise à être un hymne à la croissance. Une croissance dont les risques seront suffisamment maîtrisés pour lui permettre de durer » (Rodhain & Llana, 2006, p. 41)*

Par extension, le terme « *durabilité* » peut être condamné en même temps que le « *développement durable* ». A la place, certains lui préfèrent l'emploi du concept de « *soutenabilité* » ou de « *résilience* ». Le reproche porte principalement sur le pilier économique associé au concept de « *développement* », qui, combinés, peuvent être assimilés à une tentative de croissance infinie.

En effet, dans l'imaginaire collectif le développement durable est très souvent associé à l'aspect écologique, associé de manière secondaire à l'aspect social mais désolidarisé de l'aspect économique, ce qui tend à laisser penser que la durabilité est un problème qui se traite en tenant compte exclusivement de l'aspect écologique (Ballet et al., 2012). Cette vision des choses omet les aspects sociaux et économiques qui sont proposés dans la définition initiale du développement durable (Brundtland, 1987).

De plus, il a été choisi de traduire l'expression « *sustainable development* », qui, la première fois qu'elle fut évoquée, le fut dans la langue anglaise (Cross, 2013), par « *développement durable* » dans la langue française. Cependant, ce choix a été flou un temps, la communauté scientifique oscillant entre les termes « *durable* », « *soutenable* » et même « *viable* », faisant naître par là une résistance dans la compréhension du concept (Vivien, 2007). Devant ces obstacles, un grand nombre de chercheurs architectes et urbanistes ont préféré s'intéresser au concept de résilience urbaine.

*« Urban resilience refers to the ability of an urban system-and all its constituent socio-ecological and socio-technical networks across temporal and spatial scales-to maintain or rapidly return to desired functions in the face of a disturbance, to adapt to change, and to quickly transform systems that limit current or future adaptive capacity. » (Meerow et al., 2016, p. 2)*

Cette approche convient également pour aborder les aspects sociaux, à travers le concept de résilience sociale, issue du concept de la résilience tel que défini en psychologie (Leroy et al., 2016).

Pourtant, deux éléments sont à garder à l'esprit. Premièrement, le pilier économique fait partie du fonctionnement actuel de nos sociétés occidentales. L'inclure dans la définition de la durabilité

est utile pour tenir compte de la réalité des enjeux dans leur ensemble, et également pour positionner les enjeux écologiques et sociaux par rapport aux contraintes économiques. Deuxièmement, le développement durable ne doit pas viser de manière prioritaire le développement économique, même si le fonctionnement actuel de notre société peut tendre dans cette direction. En effet, la définition qu'en fait le rapport Brundtland, reconnu comme étant à l'origine de la popularisation de l'emploi de cette expression, insiste largement sur l'aspect humain :

*« (...) un développement **qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs**. Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de besoins, et plus particulièrement des **besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité**, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale imposent sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir » (Brundtland, 1987, p. 40).*

Le concept de durabilité permet donc à la fois de tenir compte des sociétés humaines (pilier social) et de l'environnement dans lequel ces sociétés évoluent (pilier écologique), tout en incluant leur état actuel (générations présentes) et à venir (générations futures). Selon la perspective choisie pour étudier le concept, il peut être utilisé pour promouvoir le développement social de la communauté, puisque toute la définition du développement tourne autour d'un état meilleur pour la condition humaine. Cela passe par la prise en compte du milieu dans lequel l'humain évolue (pilier écologique), par la prise en compte de ses besoins et ce à toutes les strates de la société, en particulier pour les profils affaiblis ou minoritaires (pilier social), et par l'état de fonctionnement de ses moyens d'obtenir des biens et des services (pilier économique).

De plus, le concept de développement durable, par l'emploi de la notion de développement, permet d'induire la prise en compte des générations futures, et peut se référer à un développement psychologique ou un développement des habitudes sociales, sans pour autant signifier un développement économique infini. Cependant, nous admettons que le concept de développement économique devrait être circonscrit à ce qui est considéré comme suffisant pour bien vivre, toute la complexité du débat résidant dans la définition de ce « bien vivre ». Cela implique que le développement n'a pas vocation à être éternel, mais aussi que la limite est subjective et dépendra des attentes de chaque individu.

En raison de toutes ces facettes associées au développement durable, nous préférons donc garder uniquement le terme « durable », notamment pour caractériser l'architecture qui tient compte des enjeux environnementaux, sociaux et économiques. C'est pourquoi dans la suite de ce document, nous emploierons l'expression « architecture durable » ou « construction durable », ainsi que « durabilité sociale, économique ou écologique ». Néanmoins nous aborderons le concept de développement durable dans son ensemble afin de contextualiser celui de durabilité sociale.

### **1.1.2 Prise de conscience**

Les inquiétudes concernant l'équilibre environnemental se sont intensifiées ces dernières années, ce qui peut donner l'impression qu'il s'agit d'un questionnement apparu dans la société très récemment. Cependant, dans les paragraphes suivants, nous mettons en évidence que l'on peut déjà constater une forme de conscience du dérèglement de la biosphère au cours du 19<sup>ème</sup> siècle. A cette période, il est pour la première fois envisagé que l'activité humaine puisse avoir un impact sur l'environnement (Diemer, 2015).

Ce constat débute à travers l'étude des sciences naturelles, discipline dans laquelle les travaux de plusieurs chercheurs font référence à l'action humaine, que ce soit de manière directe ou indirecte. Alexander Von Humboldt (1769-1859), naturaliste allemand, s'interroge plusieurs fois dans son œuvre sur le lien entre ses observations et l'activité de l'Homme. En 1807, il écrit dans « Essai sur la géographie des plantes », en s'exprimant à propos du climat de la vallée du Mexique dans l'ancien royaume de la Nouvelle-Espagne :

*« Cette sécheresse, sans doute aussi nuisible à la santé qu'à la végétation, va en augmentant de siècle en siècle, parce que l'industrie de l'homme fait découler les lacs et que l'abondance des pluies diminue » (Humboldt & Bonpland, 1807, p. 99)*

Par cette phrase, il suggère un lien de cause à effet entre les activités humaines et l'évolution climatique de la région.

Les exemples similaires ne manquent pas : en Belgique, Alexandre Moreau de Jonnés étudie en 1825 la question des changements générés par le déboisement des forêts. A la demande de l'Académie Royale de Bruxelles, il s'intéresse à l'impact du déboisement des forêts sur la température des lieux, la fréquence des pluies, l'humidité atmosphérique, les sources et eaux pluviales, les vents et la salubrité de l'air, la fertilité des sols et ce qu'il nomme « l'état social des peuples » (Moreau de Jonnés, 1825). Dans ses écrits, il attribue la diminution des surfaces forestières à l'expansion de l'agriculture, aux besoins constructifs issus des progrès de la civilisation et à la vente des terres du clergé à des particuliers en conséquence du déclin du pouvoir ecclésiastique.

Au sein des villes gagnées par la croissance industrielle, la modification de l'environnement immédiat est plus visible encore. Les paysages y sont façonnés par l'urbanisation massive et la création des sites d'usinage, où se lèvent de hautes cheminées à partir de 1810 (Guillerme et al., 2004). Ces dernières ont tant marqué les esprits qu'elles sont devenues de véritables symboles de l'industrialisation (Veschambre, 2014). Au contraire des changements subtils du climat, l'apparition de ces structures sont visibles et constatables par tous.

Cette activité économique est rapidement positionnée par ses contemporains comme étant opposée à la nature, et est mise en comparaison avec les traditionnelles activités paysannes dans lesquelles transparait la notion du soin de la terre. Jean-Jacques Rousseau aborde ce sujet dans « Les rêveries du promeneur solitaire » où il évoque la dureté du travail de la mine :

*« Les visages hâves des malheureux qui languissent dans les infectes vapeurs des mines, de noirs forgerons, de hideux cyclopes, sont le spectacle que l'appareil des mines substitue, au sein de la terre, à celui de la verdure et des fleurs, du ciel azuré, des bergers amoureux et des laboureurs robustes, sur sa surface » (Rousseau, 1817, p. 80)*

Sans pour autant qu'elle soit clairement nommée, on commence à distinguer dans ces propos une dualité entre les activités humaines, associées à la saleté, et la nature, présentée comme plus saine, plus pure.

En parallèle de cette première approche de la problématique environnementale, d'importants mouvements politiques se produisent dans le monde. De 1815 à 1825, des révolutions majeures se déroulent en Amérique latine, menant progressivement à l'indépendance de chacun des pays du continent (Blaufarb, 2018). Au siècle suivant, ce sont l'Asie (de 1945 à 1954) puis l'Afrique (de 1956 à 1963) qui s'émancipent (Grimal, 1985). Trois nouveaux continents font donc leur apparition dans

les enjeux géopolitiques. Légitimement, ils aspirent à un meilleur niveau de vie et souhaitent obtenir à la fois leur part des ressources mondiales, et un pouvoir décisionnaire quant à la répartition de ces ressources (Longet, 2016).

A la même période, l'Organisation Mondiale de la Santé s'interroge sur les effets des substances chimiques sur la santé humaine, notamment concernant les additifs alimentaires et les résidus de pesticides sur les aliments (OMS, 1978), ainsi que sur les substances toxiques présentes sur certains lieux de travail comme par exemple l'exposition aux pesticides pour les travailleurs agricoles (OMS, 1976).

A ces événements s'ajoutent les premières images de la Terre vue depuis l'espace (Figure 2) (NASA, 2020), notamment les clichés réalisés au cours des missions Apollo dès 1966 (C. Dubois et al., 2014). Ces images offrent la vision d'une Terre-système, dont l'équilibre et la fragilité semblent soudain indépendants des frontières érigées par l'Homme (Morin et al., 2015).

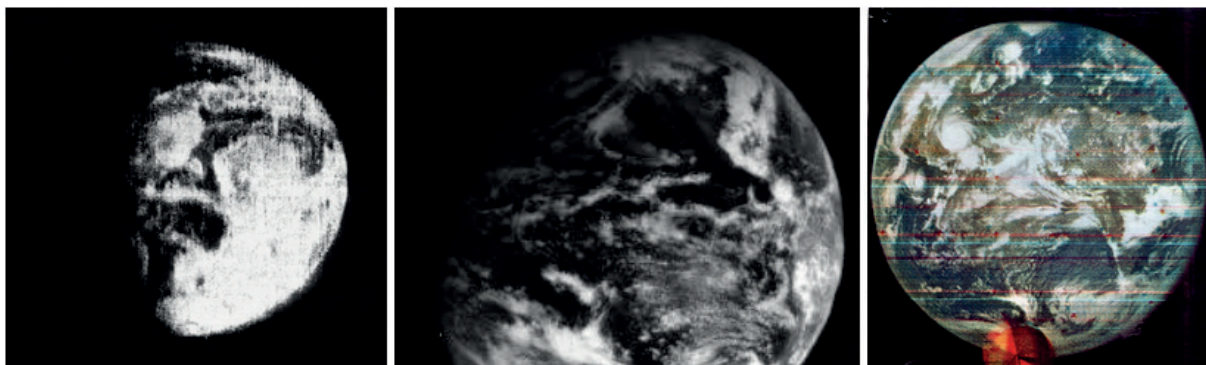


Figure 2 - Premières représentations de la Terre, prises par satellites de 1966 à 1967 (NASA, 2020)

Ces événements consécutifs ont créé un contexte de remise en question socio-politique et de repositionnement de l'Homme face à son univers. Ils peuvent être considérés comme la genèse des questionnements sur la qualité et la préservation de l'environnement.

### 1.1.3 Evolution du concept de la durabilité

A partir de 1962, les conférences, déclarations et traités internationaux traitant de la gestion des ressources naturelles et de la protection de l'environnement terrestre, marin, aérien et même spatial (Figure 3) (Morin et al., 2015) se multiplient à l'échelle internationale.

La première Conférence des Nations Unies sur l'environnement se déroule en 1972 à Stockholm. Dans la déclaration publiée à la suite de la conférence, on retrouve les notions de « protection et amélioration de l'environnement », « pollution de l'eau, de l'air, de la terre et des êtres vivants », « équilibre écologique et de la biosphère » et « l'épuisement de ressources irremplaçables ». On y évoque également les générations présentes et futures, ainsi que le développement économique et social, qui seront identifiés quelques années plus tard comme étant les piliers de la définition du développement durable (Conférence des Nations Unies, 1972).

Ces discussions sont alimentées par le rapport « Limits to growth », traduit en français par le nom « Halte à la croissance », publié par le Club de Rome. Ce dernier est écrit par un collectif de chercheurs qui y réalise une simulation mathématique des conséquences de la croissance économique à long terme sur la Terre (Barbault, 2022) : pour la première fois, un comité scientifique



annonce que les ressources naturelles utilisées par l'Homme ne sont pas illimitées (Meadows et al., 1972). A cela s'ajoute le fait que la croissance des pays développés est directement liée à l'exploitation de ressources non renouvelables, et le rapport annonce que la croissance économique liée à ces ressources ne peut pas être infinie (Chevret, 2015). Le rapport évoque un effondrement du système à l'horizon 2020-2030, ce qui interpelle la communauté scientifique. Le rapport « Limits to growth » est critiqué par des économistes tels que Friedrich Hayek. Leur foi dans l'innovation et le progrès technique les pousse à croire qu'il sera toujours possible d'exploiter de nouvelles ressources pour remplacer celles qui seraient épuisées (Diemer, 2015). Il est notamment reproché au Club de Rome de cacher un enjeu politique et un engagement idéologique à la botte de « l'élite dirigeante des sociétés occidentales » (Brailard, 1982).

En effet, le contexte politique est tendu pendant le sommet de la Terre de Stockholm : les pays de l'Est annoncent leur refus de participer à la conférence et les Etats-Unis sont accusés d'écocide pour leurs actions de guerre au Vietnam. Les tensions Nord-Sud commencent à se faire sentir : alors que les pays du Nord, conscients de leur part de responsabilité dans les problématiques environnementales, ont pour objectif d'entamer une première politique environnementale et d'amener l'écologie au centre des discussions, les pays en voie de développement quant à eux ont le besoin et l'envie d'améliorer leur développement économique dans le but d'atteindre un niveau de vie équivalent à celui des pays développés. Ces deux visions contradictoires donneront lieu à un échec, puisqu'aucune des parties ne put se mettre d'accord sur le choix des priorités à mettre en œuvre.

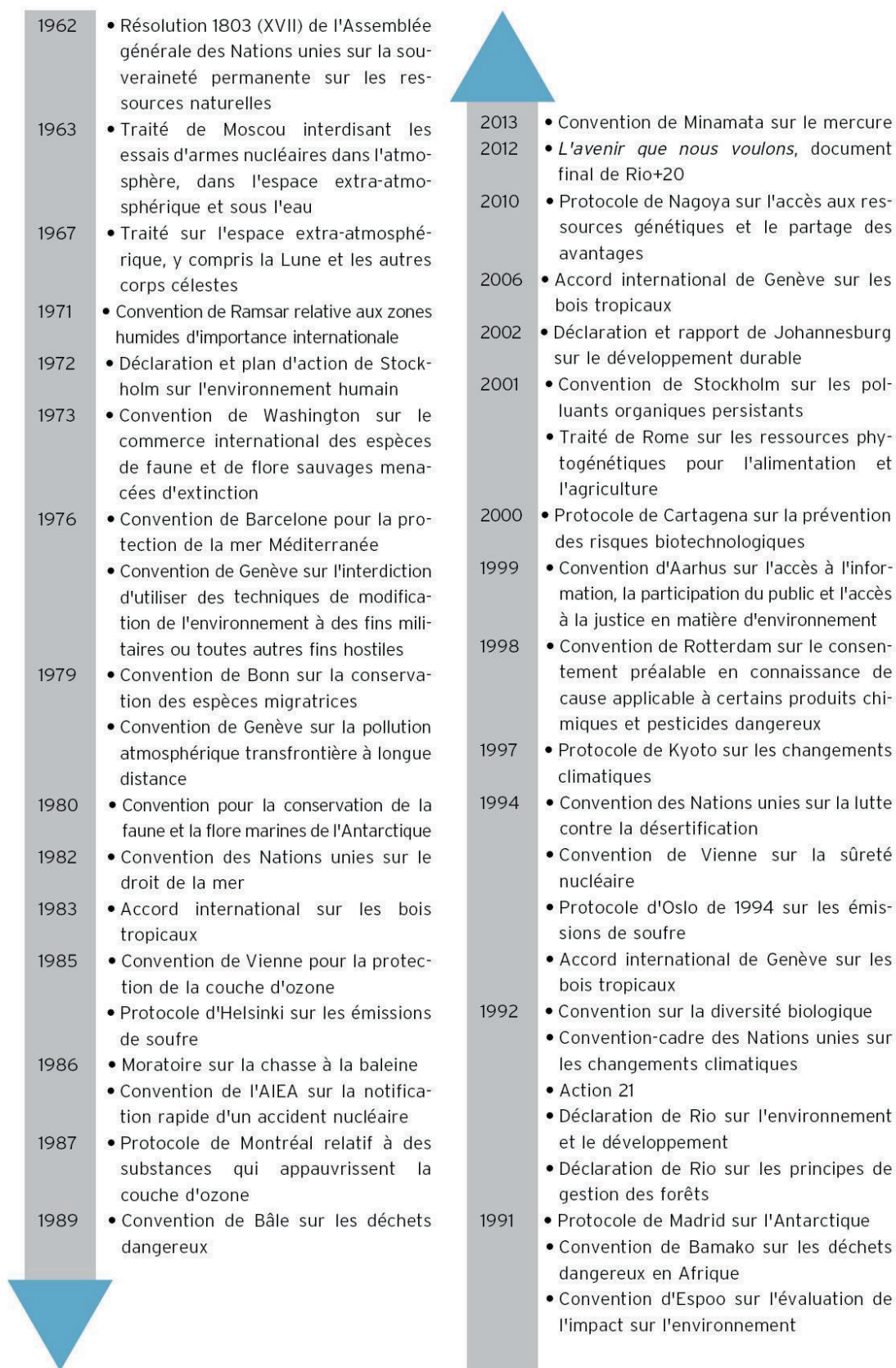


Figure 3 - Chronologie des principaux traités et déclarations liés à la politique internationale de l'environnement (Morin et al., 2015)

La notion d'écodéveloppement est née dans ce contexte, et donc dans le but de satisfaire les deux parties. C'est Maurice Strong, secrétaire général de la conférence des Nations Unies qui évoque ce terme. L'économiste Ignacy Sachs, également présent lors de la conférence de Stockholm, popularise et théorise le concept un peu plus tard en définissant l'écodéveloppement comme un développement à la fois socialement incluant et respectueux de l'environnement. Les solutions économiques doivent donc être sociales, environnementales et viables (I. Sachs, 1978).

Le premier pilier de l'écodéveloppement est le « self-reliance », qui énonce que le modèle de développement utilisé jusqu'à présent par les pays connaissant une économie prospère ne peut pas être transposé à l'échelle mondiale. Afin d'éviter de reproduire ce modèle basé sur le gaspillage des ressources, chaque pays doit créer une méthode de développement alternative, prenant en compte les contextes historiques, culturels et environnementaux propres à chaque pays.

Le deuxième pilier est la prise en charge des besoins essentiels de chacun, c'est-à-dire les besoins matériels comme le logement, l'alimentation, l'éducation ou la santé, mais aussi le besoin immatériel de réalisation de soi en permettant à tous de vivre une vie qui trouve un sens à leurs yeux.

Enfin, le dernier pilier est celui de la prudence écologique. L'écodéveloppement se trouve à mi-chemin entre un modèle de croissance productiviste et un écologisme radical où la nature est perçue comme un sanctuaire. Le terme d'écodéveloppement sera très populaire auprès des pays en voie de développement dans les années 70-80, mais la remise en cause demandée du modèle en place créera une méfiance de la part des pays développés. Il sera remplacé plus tard par le concept de développement durable (Diemer, 2015).

La première mention du « *sustainable development* » a lieu à l'issue de la Commission mondiale pour le développement et l'environnement en 1987. Pendant 5 ans, Gro Harlem Brundtland, première ministre de Norvège, préside la rédaction du rapport Brundtland « Our common future » (traduit « Notre avenir à tous » en français). Dans ce dernier, le développement durable est exprimé selon trois axes : économique, social et environnemental. Il est défini comme suit :

*« (...) un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de besoins, et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale imposent sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir » (Brundtland, 1987, p. 40).*

La conclusion de la commission Brundtland est que le monde ne fait pas face à plusieurs crises isolées mais bien à une seule crise globale, dont la conséquence est de devoir penser ensemble « *environnement*, c'est-à-dire le lieu où chacun de nous vit, et « *développement* », qui correspond à notre tentative d'améliorer notre sort au sein de ce milieu.

*« Aujourd'hui, ce dont nous avons besoin, c'est une nouvelle ère de croissance économique, une croissance vigoureuse et, en même temps, socialement et environnementalement durable » (Brundtland, 1987, p. 4).*

Un autre point essentiel est qu'il faut penser ensemble l'avenir des pays du nord et ceux du sud. Le titre même du rapport évoque ce principe, « Notre avenir à tous », qui se veut être un projet

englobant tous les pays sur base d'un principe d'équité entre les humains d'une même génération, tous pays confondus. La responsabilité des pays développés est reconnue et parallèlement, il est annoncé que les pays en voie de développement ne peuvent pas se permettre d'emprunter la même voie. Les pays du nord doivent donc aider les pays du sud à se développer d'une manière plus durable qu'ils ne l'ont fait eux-mêmes. Enfin, il faut également penser ensemble les générations présentes et à venir en appliquant un principe d'équité intergénérationnelle. Pour entretenir ce lien, il faut veiller à la qualité de l'environnement et des ressources naturelles qui seront laissées aux générations futures. Cela induit une exigence de solidarité à la fois dans l'espace (en incluant toutes les zones géographiques) et dans le temps (en tenant compte de toutes les générations, y compris celles à venir).

Les limites du rapport Brundtland se trouvent notamment dans une définition relativement vague du développement durable, un manque de distinction entre « croissance » et « développement » et un manque d'ancrage théorique précis. Cependant, ce dernier point représente également un atout car il assure la pérennité du rapport en permettant à chacun de se l'approprier dans son propre corpus théorique (Diemer, 2015).

A la suite de cette première définition de la durabilité, plusieurs conférences seront organisées dans le but de perpétuer les principes énoncés dans « Our common future » (Figure 4). A partir de 1995, des Conférences des Parties (COP) sont organisées au moins une fois tous les deux ans (Lavielle et al., 1999) pour réunir les chefs d'états autour du sujet du réchauffement climatique. Lors de la COP21 en 2015, deux piliers sont ajoutés à la définition du développement durable : la paix et les partenariats. Ces piliers sont parfois nommés « les cinq P » : People, Planet, Profit, Peace and Partnership. C'est également lors de cette conférence que les 17 Objectifs de Développement Durable (ODD) sont publiés. L'un d'entre eux se nomme « Ville et communautés durables ». Dans l'énoncé de cet objectif, les Nations Unies souhaitent promouvoir une analyse de l'environnement bâti qui ne soit pas uniquement portée sur la technique mais également sur l'équité sociale, ce qui implique de travailler sur les biens sociaux et environnementaux produits et consommés au cours du processus de construction des villes (United Nations, 2015).

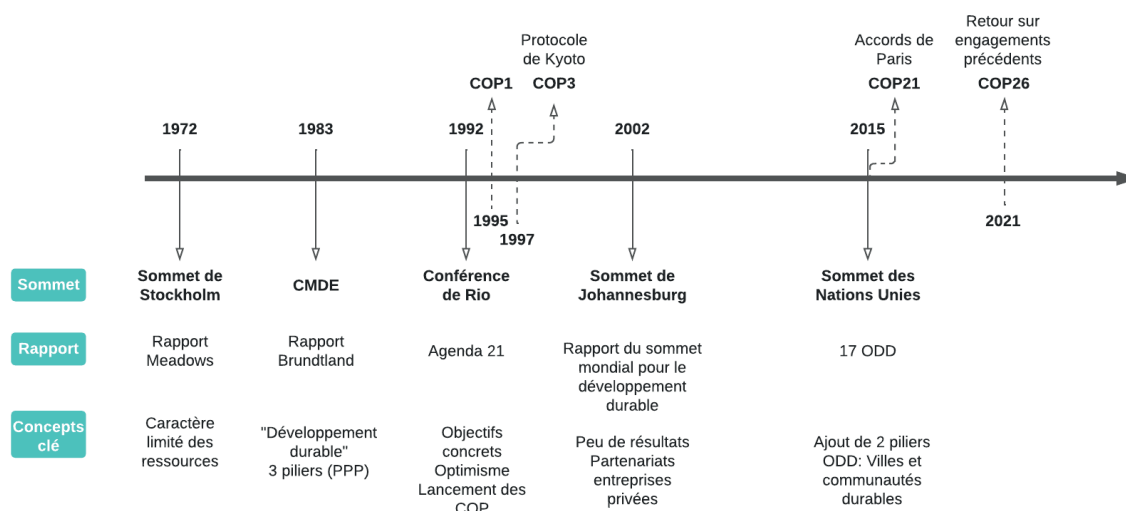


Figure 4 - Principales conférences internationales liées à la transition durable de la société

Après s'être disséminé dans la société, le concept de la durabilité a également infusé ses principes dans le milieu de l'architecture. Pour la communauté des architectes belges et français,

cela s'est manifesté par la mise en place de réglementations centrées principalement sur les performances énergétiques des bâtiments.

En Belgique, les réglementations énergétiques thermiques sont mises en place à partir de 1985 en région Wallonne (1992 pour la région flamande, 2000 pour la région Bruxelles-Capitale) et la réglementation de Performance Energétique des Bâtiments (PEB) est organisée à partir de 2006 (Spies, 2013). A partir de 2021, tous les bâtiments neufs ont également été soumis à la réglementation Quasi Zéro Energie (Q-ZEN), qui se concentre sur l'étanchéité de l'enveloppe, la performance des systèmes et le recours à des énergies renouvelables (Wallonie Energie, 2017).

En France, c'est dès 1974 que les Réglementations Thermiques (RT) sont mises en place (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2019). Plusieurs versions ont vu le jour au cours des dernières années, jusqu'à la RT2012, qui est a été utilisée du 1<sup>er</sup> janvier 2013 au 1<sup>er</sup> janvier 2022 pour évaluer les bâtiments neufs lors de l'introduction de leur permis de construire (ADEME, 2018), puis la Réglementation Environnementale (RE) qui a été active à partir de janvier 2022 (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2023).

### 1.1.4 Synthèse

On observe une prise conscience de l'impact des activités humaines sur l'environnement à partir du 19<sup>ème</sup> siècle, bien qu'à l'époque cette prise de conscience est dispersée et ne conceptualise pas encore l'aspect global et systémique du problème. Cette prise de conscience a progressivement débouché sur la création de traités et de conférences à l'échelle internationale dont l'objectif est de protéger l'environnement sous toutes ses facettes. Plusieurs conférences successives ont approché la problématique sous différents angles, et l'aspect social y a été au centre des intérêts : au cours des différentes approches, il est fait référence aux générations futures, à la croissance des pays développés et en voie de développement, mais aussi aux besoins matériels et immatériels nécessaires à la survie et à la réalisation de chaque humain.

Le concept de développement durable proposé lors de la Commission mondiale pour le développement et l'environnement permet de synthétiser tout cela à travers trois piliers : le pilier économique, le pilier écologique et le pilier social. En parallèle de ces piliers, quatre notions font parties intégrantes du concept de durabilité. Il s'agit du maintien du niveau de qualité de vie pour les générations futures, le maintien de la croissance, le bien-être des citoyens et la résilience du système (Sébastien & Brodhag, 2004).

En ce qui concerne la durabilité en général, on peut constater que, dans toutes ces approches, la place des personnes et de leur bien-être reste centrale (Tableau 1). Elle s'exprime par la mise à égalité du pilier social avec les piliers écologique et économique dans la définition du développement durable, mais aussi par l'accent mis sur l'équité entre les pays développés et en voie de développement et par la volonté de prendre en compte les générations futures autant que les générations actuelles. Les deux piliers ajoutés en 2015, celui de la paix et celui des partenariats, confirment une intention orientée vers le bien-être de l'humanité. Ce dernier est le fil conducteur de la démarche, dont l'objectif principal est de fournir aux humains un lieu de vie agréable dans lequel ils pourront vivre dans les meilleures conditions possibles. Dans les textes mentionnés ci-dessus, le pilier social renvoie majoritairement à la notion de besoin. Cependant, dans le contexte du milieu architectural, cette prise de conscience prend forme à travers des réglementations orientées vers les performances liées à la consommation énergétique des bâtiments. Ni la PEB en Belgique, ni la RT puis la RE en France ne tiennent compte d'un aspect social du bâtiment.

<b>Auteur</b>	<b>Date</b>	<b>Mots-clés</b>
Conférence des Nations Unies	1972	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protection et amélioration de l'environnement</li> <li>- Pollution de l'eau, de l'air, de la terre et des êtres vivants</li> <li>- Equilibre écologique et de la biosphère</li> <li>- Epuisement des ressources irremplaçables</li> <li>- Générations présentes et futures</li> <li>- Développement économique et social</li> </ul>
Sachs	1978	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eco-développement</li> <li>- Self-reliance</li> <li>- Prise en charge des besoins essentiels de tous</li> <li>- Prudence écologique</li> </ul>
Brundtland	1987	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Développement durable</li> <li>- Economique</li> <li>- Ecologique</li> <li>- Social</li> <li>- Durabilité dans le temps</li> </ul>
COP21	2015	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Paix</li> <li>- Partenariat</li> <li>- Objectifs de développement durable</li> </ul>

*Tableau 1 - Concepts relatifs à la durabilité*

## **1.2 La transition numérique dans la conception architecturale**

En parallèle de la transition environnementale que nous venons d'aborder, un autre bouleversement se déroule dans la société : la transition numérique. Dans cette section, nous détaillons comment les outils numériques se sont progressivement fait une place dans le quotidien des concepteurs, en devenant acteurs à part entière de l'activité de conception. De plus nous questionnons la position de ce nouvel acteur face aux autres acteurs du projet.

### **1.2.1 La transition numérique, évolution dans les pratiques architecturales**

Au regard de l'étendue de l'histoire humaine, la société a vu sa structure être modifiée particulièrement rapidement au cours du dernier siècle. On peut en dire autant du secteur de la construction, qui vit une transition numérique intense depuis la moitié du 20<sup>ème</sup> siècle.

Les architectes ont la réputation d'avoir des réactions lentes face aux changements technologiques, et ce même bien avant l'intervention du numérique dans leurs pratiques (Carpo, 2017). Cependant, en moins de 100 ans, les concepteurs sont passés de la table à dessin aux jumeaux numériques. On peut imaginer l'ampleur d'un tel changement, surtout lorsqu'on remet en perspective l'histoire de l'architecture dans son ensemble. On s'aperçoit alors que, pendant plusieurs siècles, les architectes ont utilisé en grande majorité un seul et même outil pour transmettre leurs idées : le crayon. L'ère du numérique a remis en question toute une tradition de savoir-faire et d'habitudes, et les concepteurs se sont adaptés à ces changements qui ont inexorablement entraîné des bouleversements majeurs dans leurs pratiques, leurs méthodologies de travail et même leurs structures hiérarchiques. C'est ce que nous allons aborder dans cette section.

L'un de ces premiers bouleversements concerne les modes de représentation. Langage de l'architecte, le dessin tient un rôle majeur dans l'histoire de l'architecture. Il est un lien entre le concepteur et le faiseur et est chargé d'informations. Mario Carpo affirme en 2018 lors d'une conférence pour Google que si on ne peut pas le dessiner, on ne peut pas le construire (Carpo, 2018). En effet, si on ne peut pas communiquer une idée, elle ne peut pas être concrétisée. Cependant le dessin ne fut pas le seul moyen de communication employé au cours de l'histoire de l'architecture. Jusqu'à la Renaissance italienne, les moyens de communication utilisés pour formuler l'architecture étaient principalement l'écrit et la parole, accompagnés du geste. Le dessin s'est développé par la suite pour communiquer sur l'exécution des travaux (Tidafi, 1996). De plus certaines choses sensibles, abstraites, voire humaines ne peuvent être dessinées :

*« La particularité de cette maison est d'avoir des espaces caractérisés non par des fonctions mais par des « qualités » : sombre, chaud, humide, au soleil, sonore, noir, grand, etc, donc nous avons écrit le catalogue avec les futurs habitants, et cela, évidemment, avant le moindre dessin. Comment aurions-nous dessiné le bruit de la fontaine ? » (Hondelatte & Goulet, 2002, p. 243).*

Cependant, l'affirmation de Mario Carpo est un témoin de la place prise par l'acte du dessin dans les pratiques architecturales actuelles. Aujourd'hui, il est devenu un moyen de communication incontournable entre les architectes et les acteurs de la construction et fait partie intégrante du processus de conception. Or maîtriser l'outil qui permet de dessiner est un enjeu essentiel pour les architectes. Au cours de la transition numérique, cet outil de dessin est passé d'un objet physique qu'est le crayon à un logiciel, et l'espace de dessin est passé de la feuille de papier, dont les dimensions sont définies et surtout finies, à un environnement virtuel qui est extensible et reproductible à l'infini. En parallèle, la nouvelle immatérialité des informations a facilité le partage de ces dernières, ce qui a ensuite rendu plus aisée l'inclusion d'un plus grand nombre d'acteurs dans le processus de conception. La modification du support a également entraîné la modification des modes de communication et donc de la manière d'aborder le projet. Cette évolution du mode de pensée représente le deuxième bouleversement lié au numérique dans le secteur de la construction.

Ces deux changements ont été théorisés entre autres à travers le concept de tournant digital par Mario Carpo en 2013 dans « *The digital turn in architecture 1992-2012* » (Carpo, 2013), puis dans « *The second digital turn : Design beyond intelligence* » (Carpo, 2017). Le premier tournant digital correspond au changement d'outil et le second tournant digital est lié au changement de processus de pensée.

Nous utiliserons ces deux périodes pour organiser notre propos sur la transition numérique en architecture. La section suivante traite de la genèse du numérique dans les pratiques architecturales, des nouveaux outils qui en ont découlé et des premières étapes vers le développement du BIM. Ensuite, dans une autre section, nous détaillons la conception assistée par le numérique. L'objectif est de démontrer l'évolution numérique du secteur de la construction, ainsi que ses enjeux dans l'acte de conception.

## 1.2.2 1<sup>er</sup> tournant digital : de l'outil physique à l'outil numérique

Comme nous l'écrivions ci-dessus, le premier tournant digital dans la construction correspond à la phase pendant laquelle le secteur a changé d'outil. Du papier à l'ordinateur, les bureaux d'architecture ont appris à manier de nouvelles armes pour concevoir leurs projets.

Nous utiliserons dans la section ci-dessous des termes issus de la théorie de la diffusion de l'innovation, théorisée par Everett M. Rogers. L'implantation du numérique est en effet une innovation, qui est soumise à une courbe d'adoption dans laquelle un petit nombre de profils, plus créatifs et curieux que la moyenne, s'intéresse à l'innovation avant la majorité de la communauté. Celle-ci est ensuite progressivement adoptée par les autres profils, classifiés par Everett Rogers selon leur degré de capacité à prendre le risque de s'investir dans la nouveauté (Figure 5) (Rogers, 1995). Nous ferons appel au concept de « précurseur » en tant que traduction du terme « innovator » pour désigner les premiers architectes ayant pressenti le potentiel du numérique pour leur métier.

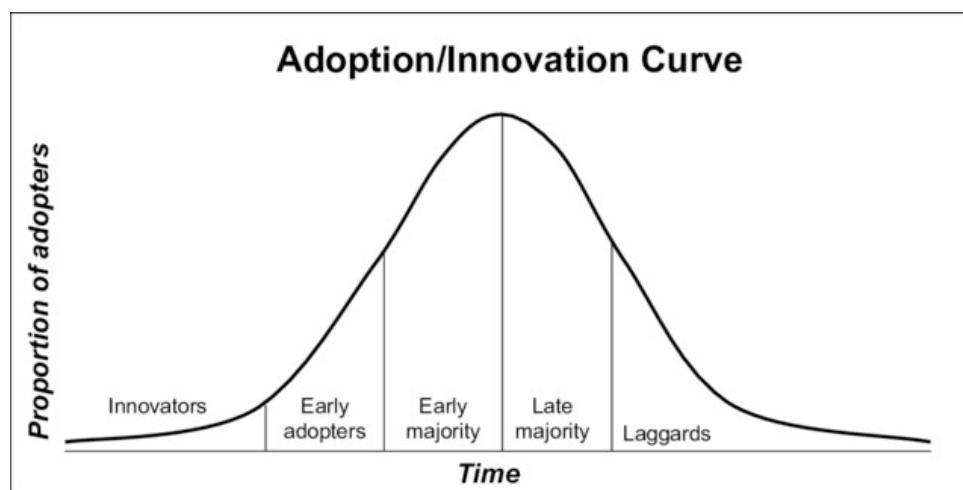


Figure 5 - Courbe d'adoption de l'innovation, réinterprétation de (Hovav & Schuff, 2005) sur base des travaux de (Rogers, 1995)

Michel Callon et Bruno Latour préfèrent exprimer les mécanismes de fonctionnement du marché à travers la théorie de l'acteur-réseau (Akrich et al., 2006). Dans leurs travaux, ils formalisent l'ensemble des acteurs impliqués, le rôle des dispositifs techniques et scientifiques, les pratiques d'expérimentation et les processus de qualification des biens et services (Callon et al., 2013), à travers les concepts de problématisation, d'intéressement, d'enrôlement et de porte-parole (Lamine et al., 2015) (Tableau 2).



<b>Séquences du processus</b>	<b>Description</b>
Problématisation	« <i>Système d'associations entre des entités dont il définit l'identité ainsi que les problèmes qui s'interposent entre elles et ce qu'elles veulent. La problématisation consiste à formuler les problèmes et proposer des solutions (Harrisson et Laberge, 2002) ».</i>
Intéressement	« <i>Ensemble des actions par lesquelles une entité s'efforce à imposer et à stabiliser d'autres acteurs qu'elle a définis par sa problématisation. Un intéressement réussi confirme la validité de la problématisation, qui dans le cas contraire se trouve réfutée. »</i>
Enrôlement	« <i>Mécanisme par lequel un rôle est défini et attribué à un acteur qui l'accepte, c'est un intéressement réussi. »</i>
Mobilisation	« <i>Convocation progressive d'acteurs qui s'allient et font masse pour rendre crédibles et indiscutables une proposition, un projet ou une innovation. »</i>

Tableau 2 - Séquences de la théorie de l'acteur-réseau, selon (Lamine et al. p.161)

### 1.2.2.1 Implantation du numérique : Genèse et évolution

L'historien Antoine Picon, qui a longuement travaillé sur la question de l'histoire du numérique en architecture, identifie trois périodes charnières pour l'évolution digitale des pratiques architecturales : le début de la société industrielle à la fin du XIX<sup>ème</sup>, le développement des ordinateurs entre les années 1950 et 1970, et l'utilisation généralisée de l'ordinateur comme outil d'aide à la conception dans les écoles et les bureaux d'architecture au début des années 90 (Picon, 2014). Il identifie également la possibilité que d'autres phases se produisent ou soient en train de se produire, dépendamment des évolutions logicielles et sociétales. Nous développons ces trois phases dans les paragraphes ci-dessous.

La première phase débute à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle. A cette période, l'ordinateur n'était pas aussi populaire qu'aujourd'hui. Il n'était accessible qu'aux grosses entreprises et administrations, jusqu'à ce que le concept d'ordinateur personnel voie le jour en 1975 (Vargoz & Guez, 2015). L'arrivée du numérique dans les pratiques architecturales est souvent attribuée à une inspiration issue de l'industrie. En effet, au début du XX<sup>ème</sup> siècle, la révolution industrielle implique d'optimiser les systèmes de production, de gérer les stocks et les clients, et donc de générer et gérer de plus en plus de données et d'informations (Eames, 1990). L'invention de l'ordinateur et les débuts du numérique permettent de solutionner ces besoins et deviennent une piste évidente à exploiter pour les industries. Bien qu'à ce moment le numérique n'ait pas encore réellement de lien avec l'architecture, il existe un parallèle entre les besoins des industries et ceux des bureaux d'architecture, comme l'archivage, ou encore la conception, le dessin et la construction d'objets. Il s'agit donc bien d'une première étape vers la numérisation de la pratique architecturale.

A partir de la deuxième phase identifiée par Antoine Picon, qui débute dans les années 1950, le numérique a attiré l'attention d'architectes précurseurs qui souhaitaient développer de nouvelles volumétries, trop complexes à dessiner avec précision à la main. A ce moment, le numérique répond aux besoins qu'ont les concepteurs de tester de nouvelles formes et de nouveaux concepts, comme l'illustrent Léa Sattler et Thomas Maigne à travers l'exemple de Frank Gehry (Sattler & Maigne, 2018). C'est également un moyen de tester les possibilités générées par la révolution industrielle, comme le concept de préfabrication qui est par exemple exploré entre 1963 et 1966 par le collectif d'architectes Archigram à travers l'étude de la Plug-In City, une ville constituée de cellules

préfabriquées et modulables (Figure 6) (Chalk, 1964). Le numérique se prête particulièrement bien à ces tests, notamment à travers la possibilité de reproduire plusieurs fois un même module grâce à l'outil copier/coller.

A ce moment, le numérique est principalement vu comme un moyen de résoudre les situations complexes. Par conséquent, la majorité des architectes, qui construisaient des formes aisées à représenter sur papier, pouvaient ne pas se sentir attirés par la question du numérique. Dans cette phase, le numérique en architecture revêt le caractère d'un nouvel art exploratoire qui se traduit par l'étude des volumes, mais intéresse principalement les précurseurs.

C'est aussi à cette période que des architectes précurseurs expriment l'intuition que le numérique pourrait être plus qu'un outil de dessin. Dans l'ouvrage « The use of computers instead of drawings in building design », Charles Eastman aborde la problématique des maquettes physiques, qui sont jusque-là utilisées principalement pour communiquer sur le projet fini. Il imagine utiliser la maquette comme outil d'aide à la conception et visualise le potentiel que représenterait une maquette numérique qui serait associée à une banque de données, afin de calculer les quantités de matériaux et leur coût (Eastman, 1975). Il s'agit d'une des premières évocations à l'une des facettes du BIM : la banque de données.

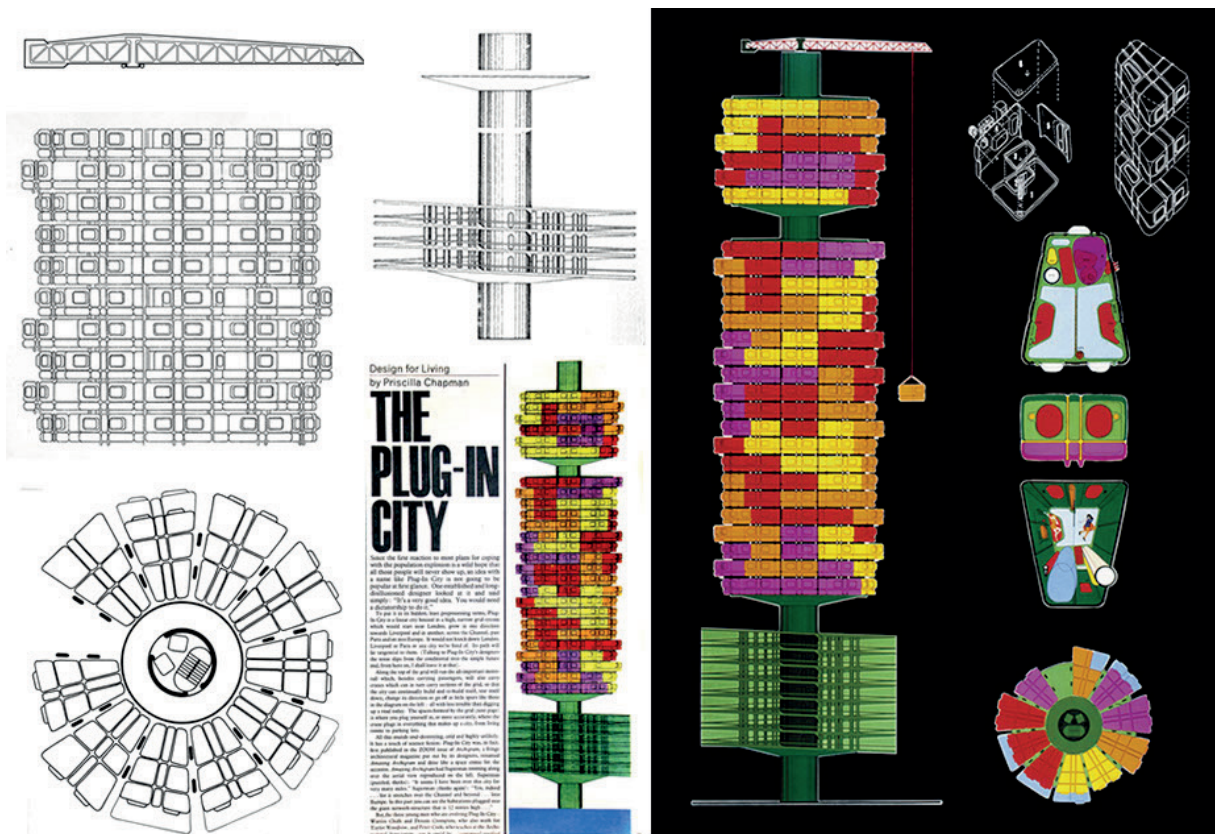


Figure 6 - « Capsule Homes, Tower and Capsule Elevations, plans and details » produit par Warren Chalk pour le collectif Archigram (Chalk, 1964)

Mais en parallèle de cette volonté d'explorer l'utilisation du numérique, guidée par la découverte de nouvelles formes, le secteur du bâtiment est perçu comme étant en retard sur sa digitalisation, surtout lorsqu'il est comparé aux avancées des autres industries dans lesquelles le Product Lifecycle Management (PLM) est en plein essor (Sattler et al., 2020). Dans une recherche de productivité améliorée, le numérique se répand progressivement à partir des années 1990 dans les bureaux, à travers la diffusion des ordinateurs et la naissance des logiciels de dessin assisté par

ordinateur (DAO). Il s'agit de la troisième phase, à partir de laquelle les bureaux et les écoles d'architecture se saisissent du numérique.

On peut donc observer que le déploiement du numérique en architecture s'est fait à travers la poursuite de deux objectifs. D'une part dans une logique de recherches et d'expérimentations exploratoires, qui tient presque d'une démarche artistique, d'autre part dans une logique de recherche de productivité améliorée et de mise à niveau par rapport aux secteurs industriels. Louis Destombes oppose l' « *appropriation exploratoire des technologies numériques* » et l' « *appropriation productive des technologies* », la première étant axée sur « *le renouvellement des méthodes de conception* » et la seconde sur « *l'optimisation des méthodes de travail existantes* » (Destombes, 2021).

Le concept de durabilité apparaît à la même époque, puisqu'il est mentionné dans le rapport « Our common future » paru en 1987 (Brundtland, 1987), mais il est encore loin d'avoir percolé dans les comportements sociaux et dans les pratiques de métiers. La transition numérique n'est donc pas influencée à ce moment par la transition environnementale, et les enjeux sociaux de la durabilité n'y sont pas mêlés. Cependant, il s'agit d'une période de grands changements sociologiques dans la profession d'architecte.

Dans une interview réalisée en 2000, Pierre-Marc de Biasi interroge l'architecte Fernando Montès sur les transformations vécues par les bureaux d'architecture au cours des années 90, suite à l'implémentation de ce qu'ils nomment « *les nouveaux médias* » (Montès & Biasi, 2000). Ils y évoquent, entre autres, la modification des espaces de travail et des techniques d'archivage, la relation des architectes au papier, la notion de calque numérique, l'impact de l'outil « copier/coller », l'emploi nouveau des maquettes de travail et la vitesse de production.

Au sujet de l'utilité du numérique pour les architectes, Fernando Montès résume la situation comme ceci :

*« Au fond, le problème est assez simple : il y a au départ un capital de temps qu'il faut investir pour la saisie des données, qui est toujours assez lourd, et qui reste relativement cher ; mais une fois cet investissement réalisé, le capital produit très vite, en termes d'économie et de temps, des bénéfices qui peuvent aller jusqu'à dépasser la mise de départ. Pour un gros projet qui contient des développements complexes et qui doit être mené jusqu'au bout, il ne fait aucun doute que l'informatique est devenue aujourd'hui indispensable » (Montès & Biasi, 2000, p. 134).*

A travers cette phrase, il démontre que les architectes ont effectivement emboîté le pas aux industriels et ont réussi leur pari d'améliorer leur rendement. Cependant il cantonne l'intérêt du numérique aux projets complexes et/ou de grande envergure, et affirme plus loin dans l'interview que les projets plus conventionnels et de plus petite taille peuvent s'en passer. Le gain de temps qu'il évoque est lié à la quantité et à la taille des documents à produire, effectivement plus nombreux dans les grands projets.

Or comme nous l'avons vu précédemment, jusque dans les années 2000 l'ordinateur n'est pas un outil d'aide à la conception, qui serait alors utile pour toute taille de projet, mais est plutôt un outil d'aide au dessin. Cela lui donne un rôle lié au rendement des concepteurs, et le rend d'autant plus pertinent lorsqu'il est appliqué à de grosses quantités de travail. De plus, le « *capital de temps qu'il faut investir* » auquel Fernando Montès fait référence est précisément la donnée variable qui tempore la diffusion du numérique au sein des bureaux, puisque tous les bureaux ne disposent

pas des mêmes ressources financières et temporelles à investir dans l'adoption d'une nouvelle technologie.

Pour conclure, c'est d'abord la sensibilité plus ou moins importante envers les formes complexes qui a guidé l'implantation d'une première approche numérique dans les pratiques de conception architecturale. Au début, plutôt orientée vers des explorations de formes complexes, mais renvoyant aussi à la « *sensibilité technologique* » (Bourbonnais, 2014) des architectes. Ces différences de sensibilités pouvant beaucoup varier d'un individu à l'autre, le rythme de l'adoption du numérique n'a pas été régulier et ne l'est toujours pas aujourd'hui.

Les trois phases identifiées par Antoine Picon et développées ci-dessus ont conduit à l'implantation du numérique dans les agences (Tableau 3). Cependant, au début des années 2000 il n'est pas encore unanimement perçu comme indispensable, et est plus souvent utilisé comme outil de dessin que comme outil d'aide à la conception.

Phase	Période	Conséquences
Naissance de la société industrielle	Fin XIX <sup>ème</sup> - début XX <sup>ème</sup> siècle	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Naissance de la société de l'information</li> <li>- Augmentation de la quantité de données à traiter dans le secteur industriel</li> <li>- Utilisation de l'ordinateur pour le traitement des stocks, clients, employés dans les administrations et grandes entreprises</li> </ul>
Développement des ordinateurs	1950-1970	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploration du potentiel du numérique par des architectes précurseurs tels que Nicholas Negroponte, Cedric Price, Archigram, ...</li> <li>- Identification par les précurseurs de la possibilité d'utiliser l'ordinateur comme outil d'aide à la conception</li> </ul>
Généralisation de l'ordinateur dans les écoles et bureaux d'architecture	Début des années 1990	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Généralisation des pratiques numériques dans les bureaux d'architecture</li> <li>- Généralisation des pratiques numériques dans les écoles d'architecture</li> <li>- Utilisation de l'ordinateur comme outil de dessin</li> </ul>

*Tableau 3 - Les trois premières phases ayant mené à l'utilisation du numérique dans les bureaux d'architecture selon l'analyse d'Antoine Picon*

Pour aller au-delà d'une approche DAO et envisager le numérique comme plus qu'un moyen de dessiner, cela nécessite d'approprier de nouveaux outils. Par « outils », nous entendons à la fois les supports de travail (ordinateurs, souris, clavier, ...) et les logiciels de travail. Ces derniers ont connu une évolution particulièrement rapide, à laquelle les architectes ont dû s'habituer pour rester à jour dans une profession très concurrentielle. La section suivante se penche sur l'appropriation de ces outils par les architectes.

### **1.2.2.2 La prise en main des outils numériques par les architectes**

Nous avons vu dans la section précédente que les premiers logiciels créés pour l'architecture servaient à dessiner. C'est le cas de Sketchpad, créé en 1963 par Ivan Sutherland pour faciliter la communication homme-machine, qui était jusque-là contrainte par la nécessité de rédiger du code, un langage à part entière qui pouvait représenter un frein à la découverte par les non-initiés (Figure 7) (Sutherland, 1964). A la place, Sketchpad utilise des traits, ce qui fait échos aux dessins d'architecture. Cela attire l'attention des architectes, qui y voient d'abord un potentiel pour la création de formes plus complexes, bien qu'à ce moment les logiciels soient bien moins fluides qu'aujourd'hui.

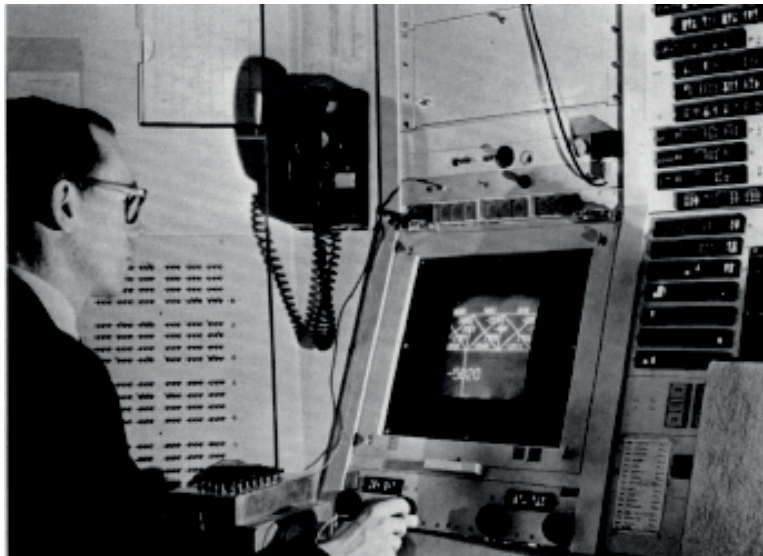


Figure 7 - Manipulation du logiciel de dessin Sketchpad (Sutherland, 1964)

D'abord utilisé pour du dessin en deux dimensions, reproduisant l'action du dessin à la main appliqué aux situations complexes, le numérique est ensuite envisagé pour la réalisation de dessins en trois dimensions. Frank Gehry, architecte amateur de formes complexes, se tourne vers le logiciel CATIA, édité par Dassault Systèmes à partir du début des années 1980. Initialement nommé CATI pour être utilisé dans le domaine de l'aviation, CATIA est surtout employé à cette époque par l'industrie automobile car il permet de gérer les courbes des carrosseries de véhicules et d'automatiser certaines tâches (Paraponaris, 2018).

Son utilisation pour la conception architecturale par Gehry est donc innovante. L'originalité de CATIA, par rapport à d'autres logiciels d'architecture comme Sketchpad, est qu'il ne fait pas appel à la géométrie cartésienne ou analytique : il utilise l'analyse différentielle. Au lieu de créer des formes à partir de points de coordonnées, il les génère à l'aide d'équations mathématiques (Rocker, 2008). De cette manière, le dessin est créé à partir de paramètres définis par l'utilisateur. La première réalisation d'envergure de Gehry avec le logiciel CATIA est « The Fish », une immense sculpture en forme de poisson construite pour le Port Olympique de Barcelone à la fin des années 1980 (Figure 8) (Rocker, 2008).

La méthode employée dans CATIA relève de la modélisation paramétrique. Il s'agit d'un ensemble d'outils utilisant des encodages de paramètres pour générer des formes à partir de points, de courbes, de surfaces ou de solides, que Adeline Stals qualifie de « *descriptions mathématiques* » (Stals, 2019, p. 78). Elle précise que ces paramètres peuvent être reliés aussi bien à la forme qu'à la performance ou aux caractéristiques, notamment les caractéristiques sociales. Bien que CATIA, avec sa technologie paramétrique, fonctionne différemment de Sketchpad, le numérique reste alors pour Frank Gehry un moyen de dessiner plus qu'un moyen de concevoir.

*« For Gehry the computer is a tool, not a partner – an instrument for catching the curve, not for inventing it » (Friedman et al., 1999, p. 34).*

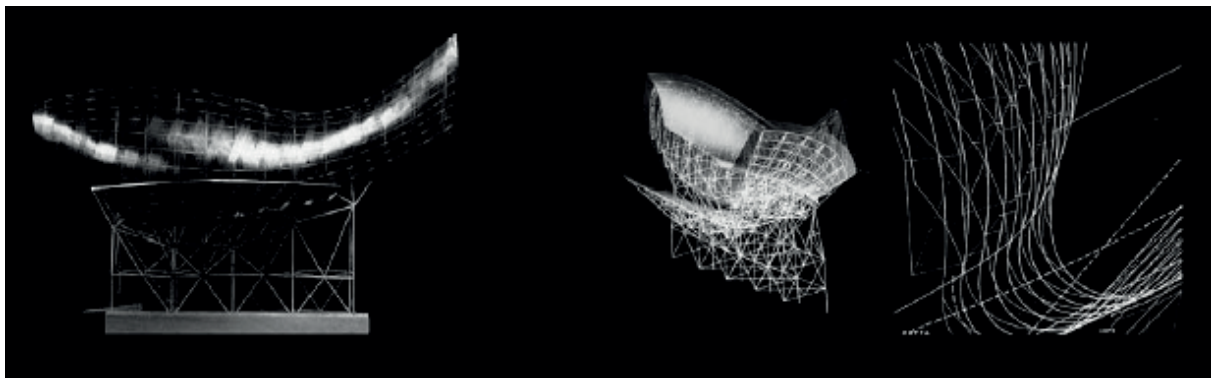


Figure 8 - A gauche, la maquette en bois et métal du projet The Fish par Frank Gehry, à droite le modèle numérique réalisé avec CATIA (Rocker, 2008)

Ces deux logiciels, Sketchpad et CATIA, posent les bases des logiciels qui verront le jour dans la décennie suivante. Ils sont nombreux, et nous ne les nommerons pas tous. Cependant, l'un de ceux qui s'est le mieux implanté et qui a longtemps été l'un des plus utilisés par les bureaux d'architecture est AutoCAD. Développé par Autodesk en 1982, AutoCAD s'est imposé sur le marché comme l'un des principaux outils de DAO. Ce logiciel permet de dessiner en 2D et en 3D, et utilise, comme beaucoup d'autres, le concept de calques pour organiser l'information au sein du dessin. Il est donc un bon candidat pour illustrer l'ensemble des logiciels de DAO. Ces logiciels présentent un certain nombre d'avantages pour les concepteurs. Anne Tourpe classe ces avantages en quatre thématiques : la communication des informations, l'utilisateur, la visualisation et l'exploitation des informations (Tableau 4) (Tourpe, 2004).

COMMUNICATION DES INFORMATIONS	UTILISATEUR	VISUALISATION	EXPLOITATION DES INFORMATIONS
Facilitation de la mise en page des plans	Dessin en 2D et en 3D, de l'infiniment petit à l'infiniment grand	Structuration des informations grâce aux systèmes de calques	Gestion des informations non graphiques (tableur, base de données...)
Liaison entre le dessin et l'impression	Outils de copiage pour la récupération d'informations déjà dessinées une fois	Rapidité du calcul des représentations graphiques	Bibliothèques de commandes personnalisables
Capacité de stockage	Précision du dessin et rigueur de la conception	Possibilité de zoomer sur les détails ou d'afficher l'ensemble du projet	Utilisation du dessin numérique dans le cadre d'autres logiciels (calcul, ...)
Partage et transfert des informations	Espace de représentation illimité et organisation libre des dessins sans contrainte liée à la taille du support	Liens entre les plans 2D et la représentation 3D	
Propreté du dessin	Possibilité de réaliser des tests de conception sans recommencer les plans	Amélioration des compétences de l'utilisateur pour la représentation de l'espace	

Tableau 4 - Avantages des logiciels de DAO pour les concepteurs, synthèse de l'analyse de Anne Tourpe

Elle mentionne le gain de temps considérable engendré par ces avantages, mais soulève également que ces derniers ne se révèlent qu'à condition d'adopter une méthodologie de travail rigoureuse et d'être suffisamment formé à l'utilisation du logiciel pour en saisir les subtilités et les possibilités. Sans la rigueur, le partage d'informations est compromis, et sans un niveau de formation suffisant le logiciel ne serait pas exploité de manière optimale (Tourpe, 2004).

Bien que les logiciels de DAO tels qu'AutoCAD aient été massivement implantés dans les bureaux au cours des années 1990, la transition ne plait pas à tous. AutoCAD, et les autres logiciels de DAO, doivent faire face à ce que Mark J. Clayton nomme « *the cult of sketching* » (Clayton, 2005). En effet, malgré l'apparition de ces nouveaux outils, le dessin à la main conserve une belle popularité auprès des architectes. Ce dernier laisse place à une forme d'abstraction qui est nécessaire au processus créatif de conception, qui peut être modifié plusieurs fois au fil de l'évolution du projet, voire combiné à d'autres dessins indépendants pour moduler l'information (McCall et al., 2001). En plein essor des pratiques numériques dans les bureaux, Christelle Boulanger compare le dessin à la main au DAO et conclut que le dessin digital, à cause de son degré de précision élevé, perd le côté créatif et ambigu du dessin à la main (Boulanger et al., 2005). Il s'agit d'une inquiétude encore rencontrée aujourd'hui auprès des architectes, ce qui peut sembler contrastant lorsque l'on sait que ce sont des recherches formelles et orientées objet qui ont initialement guidé les architectes vers l'emploi du numérique dans leurs projets.

Léa Sattler, dans son article « L'ère post-BIM – Pour une obsolescence déprogrammée : une étude de cas de deux projets de Frank Gehry en France, de 2008 à 2016 I/III », exprime également cette question de la manipulation de la créativité du concepteur par le logiciel :

*« Si le logiciel ne vous propose que des murs verticaux, il y a fort à parier que vous retrouveriez à faire des murs verticaux... si entre-temps vous avez cessé de réfléchir par vous-même. Car, notons-le au passage : le risque majeur n'est pas qu'un logiciel pense à votre place – ce n'est pas un risque, c'est un fait, c'est la fonction primaire, son unique fonctionnalité : effectuer les opérations mentales qu'il vous économise. On peut par contre supposer que le risque est qu'il vous amène à penser comme lui sans que vous vous en rendiez compte. » (Sattler & Maigne, 2018).*

Bien qu'aujourd'hui, le dessin à la main ne soit plus utilisé pour produire les plans finis du projet, il reste un moyen d'expression et de communication des idées des architectes lorsqu'ils se trouvent en phase créative, au tout début du projet.

Nous le disions ci-dessus, les logiciels de dessin ont amené un haut degré de précision dans les représentations. Pour obtenir cette précision, les outils ont été modifiés : d'un croquis au crayon qui est couplé aux plans sur papier calque, les architectes sont passés aux images entièrement créées de manière digitale, accompagnées de plans imprimés. En conséquence, les attentes ont augmenté quant à un résultat graphique à l'esthétique de plus en plus poussée, nette et précise. Aujourd'hui, la promotion des projets se fait à l'aide de ces images, appelées perspectives, en complément puis en remplacement de la maquette physique.

Ces images sont devenues un outil de communication avec les non-initiés, les usagers, ou les décideurs. Leur création passe par la réalisation d'une maquette numérique en trois dimensions, qui devient donc incontournable si l'auteur souhaite communiquer publiquement sur son projet. Comme nous l'avons vu dans la section précédente, le concept de maquette numérique a été évoqué assez tôt dans l'histoire du numérique en architecture. Néanmoins sa nécessité s'est progressivement déployée au cours des années. Les supports pour créer ces images ne sont



cependant pas forcément les mêmes que pour créer les documents techniques propres au projet. Nous mentionnions précédemment AutoCAD en tant que logiciel de dessin 2D, et il est également possible de l'utiliser pour produire de la 3D. Cependant, les architectes lui ont préféré des logiciels comme SketchUp, plus intuitifs et proposant moins de fonctions. La maquette numérique n'étant alors pas utilisée comme une maquette de travail mais comme un outil de communication, la simplicité de SketchUp est largement suffisante pour produire la volumétrie du projet, qui s'apparente finalement à une image superficielle du projet, mais est malgré tout vide d'informations techniques. Le logiciel permet de produire un squelette de la maquette, sobre et relativement dépouillé, qui est ensuite transféré vers un logiciel de rendu. Ces logiciels, tout comme ceux de DAO, sont nombreux : Lumion, V-Ray, Artlantis, ... Leur fonction est d'apporter aux volumes de la lumière, de la texture, et de manière plus générale du contexte. L'architecte peut y générer une image, qui s'apparente à une photo pour laquelle l'angle de vue est choisi et réfléchi avec soin. Cette image est parfois également modifiée à l'aide d'un outil de retouche d'image, comme Photoshop. La conséquence de ce processus de création est que l'architecte ne doit plus être capable de manipuler un seul outil, mais plutôt une multitude d'outils.

On peut se demander ce qui a pu inciter ces architectes précurseurs à s'appropriier les ordinateurs, qui à cette époque sont encore des machines volumineuses, encombrantes, occupant l'espace d'une pièce entière, et sont finalement peu efficaces et très lents en comparaison de ce que nous connaissons aujourd'hui. Selon Théodora Vardouli, s'exprimant lors d'un débat entre Martin Bressani, Mario Carpo, Reinhold Martin, Antoine Picon et elle-même, c'est le fonctionnement de ces nouvelles machines qui a pu attiser leur curiosité. En effet, les architectes se sont longtemps laissés inspirer par les mathématiques pour donner du sens à leurs œuvres. Or les ordinateurs remplacent la géométrie et l'arithmétique par des structures et des relations :

*« Les architectes ont vu les ordinateurs comme des machines facilitant la perception et le raisonnement, non par des formes, mais par des arborescences, des réseaux, des structures, des motifs. Les ordinateurs étaient des machines permettant l'avènement de l'abstraction structurelle, un idéal intellectuel culturellement et techniquement porté par des mathématiques modernes et revendiqué dans les vagues universitaires du structuralisme et de la théorie des systèmes. » (Bressani et al., 2019, p. 124).*

Dans cet extrait, Théodora Vardouli fait également référence à l'importante présence du cadre universitaire dans l'essor de l'emploi des ordinateurs en architecture. L'évolution des outils employés par les concepteurs, décrite ci-dessus, a été accompagnée d'une évolution des modes de pensées et donc des façons de concevoir. Dans les sections qui suivent, nous analyserons cette évolution à travers ce qu'en ont dit les précurseurs de leur époque. Ensuite, nous exposerons les modifications apportées par le numérique dans les processus de conception. Enfin, nous exprimerons la manière dont le second tournant digital a impacté la communication dans le milieu, et ce que cela a généré à propos de la figure de l'architecte.

### **1.2.2.3 Synthèse**

Pour clôturer cette section sur l'évolution des outils, nous avons dégagé plusieurs constats.

Premièrement, il existe plusieurs types d'outils pour concevoir de l'architecture avec un ordinateur. Dans la pratique professionnelle, les outils fonctionnant avec un système de coordonnées cartésiennes, tel qu'Autocad, côtoient les outils de dessin paramétrique. Les premiers s'apparentent plus à la logique du dessin à la main, qui tient particulièrement à cœur aux architectes,

mais questionne les limites créatives du formalisme. Les deuxièmes sont exploités principalement en tant qu'outils de dessin au cours du premier tournant digital, et permettent d'expérimenter et représenter des formes plus complexes.

Deuxièmement, au sein de ces deux types de fonctionnement, il existe plusieurs logiciels, qui existent ensemble sur le marché du travail et dont la maîtrise est primordiale aujourd'hui pour s'intégrer dans une équipe de travail. Cela implique que les architectes, pour rester à jour face à la concurrence, doivent se former régulièrement à la fois aux mises à jour des logiciels qu'ils connaissent, et également à l'utilisation d'autres logiciels similaires.

Troisièmement, malgré la pluralité des outils disponibles et leur diffusion, la conception reste dans cette période une affaire d'architecte uniquement, et non pas d'architecte assisté par le numérique. En effet, le premier tournant digital concerne principalement une évolution d'outils, mais il n'y a pas à ce moment-là de remise en question profonde des processus de conception dans toute la profession. Les logiciels sont très peu utilisés comme outils d'aide à la conception, l'idée créatrice ne pouvant venir que du cerveau de l'architecte. Le concept d'être assisté par le numérique pour explorer cette possibilité ne séduit pas la majorité, mais l'idée existe malgré tout auprès des précurseurs.

Enfin, la pluralité des outils disponibles et l'étendue de leurs fonctions a fait basculer en moins d'un siècle une méthode de communication basée sur peu d'outils, maniables de façon instinctive, à une multitude d'outils numériques nécessitant une formation pour être manipulés. « L'outil » crayon est devenu « les outils » numériques, et c'est peut-être là la plus grosse évolution liée au changement d'outil vécu pendant le premier tournant digital.

### **1.2.3 2<sup>ème</sup> tournant digital : évolution des processus de conception**

Le changement d'outil vécu par les architectes au cours du premier tournant digital a initié des réflexions et des remises en question autour du processus de la conception architecturale. Porté par les précurseurs, le processus de conception s'est modifié en même temps que les modes de pensées ont évolué.

Dans les sections qui suivent, nous analyserons cette évolution à travers ce qu'en ont dit les précurseurs de leur époque. Ensuite, nous exposerons les modifications apportées par le numérique dans les processus de conception. Enfin, nous exprimerons la manière dont le second tournant digital a impacté la communication dans le milieu, et ce que cela a généré à propos de la figure de l'architecte.

#### **1.2.3.1 Transformation des modes de pensée, vers le partenariat Humain – numérique**

Comme nous l'écrivions précédemment, deux tournants digitaux se dégagent en architecture. Mais d'une certaine manière, ces deux transitions se sont déroulées en même temps au sein de la transition numérique. En effet, Mario Carpo date le premier tournant digital associé au changement d'outil de 1992 à 2012, et le second tournant associé au changement des modes de pensée de 2012 à nos jours (Carpo, 2013, 2017). Mais en réalité, les deux transitions se produisent plus ou moins en même temps, avec une polarité forte autour du changement d'outil jusqu'au début des années 2010, puis une déviation de cette polarité vers le changement de processus de conception à partir du début des années 2010. Aujourd'hui, une technologie prend de l'ampleur dans les pratiques

numériques architecturales : le Building Information Modeling (BIM). Dans cette section, nous nous intéresserons à ce qui a créé cette imprégnation du BIM dans les pratiques, et comment cela a impacté l'activité de conception.

Le développement du BIM n'est pas la résultante du changement d'outil, car les deux concepts ont co-existé, avec plus ou moins d'intensité selon la période. En revanche, le changement d'outil était nécessaire en préambule d'une transition plus radicale liée au changement des modes de pensée. D'une part, il fallait que la technologie évolue suffisamment pour avoir la capacité de cristalliser la vision des précurseurs des années 1960. D'autre part, pour que les architectes non précurseurs soient prêts à accepter cette transition-là, il fallait d'abord qu'ils aient pu se familiariser avec la manipulation du numérique et en comprendre les codes.

Il est difficile de dater avec précision la naissance du BIM, tant il a été décrit avant d'être réellement nommé. De nombreuses citations datées d'avant les années 2000 font référence à un système de conception intégrant l'organisation des informations.

Dans « *Augmenting Human Intellect* », Douglas Engelbart imagine comment l'architecte pourrait exploiter les atouts d'un ordinateur pour améliorer son travail de concepteur.

*« Ignoring the representation on the display, the architect next begins to enter a series of specifications and data—a six-inch slab floor, twelve-inch concrete walls, eight feet high within the excavation, and so on. When he has finished, the revised scene appears on the screen. A structure is taking shape. He examines it, adjusts it, pauses long enough to ask for hand book or catalog information from the “clerk” at various points, and readjusts accordingly (...) These lists grow into an evermore-detailed, interlinked structure, which represents the maturing thought behind the actual design. » (Engelbart, 1962, p. 5).*

Cette évocation d'une banque de données survient donc très tôt dans l'histoire du numérique en architecture. On y retrouve la notion de paramètre plutôt que celle du dessin, et l'idée de conception exploratoire dans laquelle le numérique sert à tester, et pas seulement à matérialiser une idée déjà bien aboutie.

Un peu plus de dix ans après, dans « *The use of computers instead of drawings in building design* », Charles Eastman discute de la numérisation des maquettes physiques. Il évoque leur potentiel d'automatisation et de gestion des données, qui pourrait permettre de faire participer ces maquettes au processus de conception, au lieu de servir uniquement d'outil de communication pour promouvoir le projet. Pour concrétiser cette idée, il crée un logiciel de gestion de données qu'il nomme BDS, pour Building Description System. Il s'agit d'un logiciel qui se veut très général, dans lequel chaque élément est caractérisé par une forme, une liste de propriétés et des coordonnées. A cette banque de données s'ajoute une volumétrie en trois dimensions (Eastman, 1975). Il s'agit d'une des premières approches du Building Information Modeling. Bien que le BDS n'en soit pas encore capable, Charles Eastman espère déjà à l'époque pouvoir l'utiliser pour réaliser des analyses et des simulations relatives aux capacités de la structure portante et aux flux d'air, afin d'optimiser le dimensionnement des poutres et des gaines. Il définit le BDS comme une banque de données utilisée pour décrire les bâtiments à un niveau de détail permettant leur conception et leur construction (C. Eastman, 1976).

Lors d'une interview, Fernando Montès souligne la multiplicité et l'hétérogénéité des informations nécessaires à la conception architecturale. Il s'autorise alors à pousser plus loin les

limites de son imagination en évoquant un outil qui compilerait à la fois des données mesurables et quantifiables, mais également des données plus sensibles :

*« Il faudrait imaginer les ressources d'un système réalisant des hyperliens textuels et graphiques, dotés de moyens de représentations très performants, en images du monde réel (le site), en 3 D (les volumes), et capable de gérer simultanément tout un univers de cohérences très diverses : repérage des lieux, évaluation sociologique, analyse historique, références artistiques, normes juridiques, culture personnelle de l'architecte, etc. » (Montès & Biasi, 2000, p. 139).*

Cette approche envisage une utilisation du numérique dans laquelle l'Humain se trouve au centre. Sébastien Bourbonnais suggère que ce partenariat entre l'humain et le numérique est un collectif relevant du rapport social, une « *entité architecte-logiciel* » (Bourbonnais, 2017, p. 11).

A travers ces différentes approches, le concept du BIM se précise. Ces idées, bien que déjà formulées par quelques précurseurs, ne circulent pas à ce moment-là parmi les professionnels. Cependant, elles initient le second tournant digital, au cours duquel un changement des processus de pensée va s'opérer pour les architectes.

### **1.2.3.2 La conception du projet d'architecture à travers l'évolution de la modélisation numérique**

Le développement des outils informatiques dans la sphère professionnelle de la construction, que nous avons évoqué dans la section précédente, a progressivement amené les architectes à se questionner sur leur manière d'utiliser le numérique dans leur quotidien. Offrant de plus en plus de possibilités, le Dessin Assisté par Ordinateur (DAO) a évolué vers la Conception Assistée par Ordinateur (CAO). Dans cette section nous verrons ce qui différencie ces deux concepts.

L'analogie avec le dessin sur papier est souvent utilisée pour expliquer le DAO. Dans un article paru en 1983 à l'occasion de la première Conférence eCAADe, Roland Billon et François-Xavier Rocca font le point sur la différence entre le DAO et la CAO. Ils décrivent le DAO comme une avancée, mais aussi comme un processus finalement peu efficace :

*« A l'aide des outils informatiques, on fabrique une image en plan, comme on le ferait avec une règle et une équerre et un compas. Cette image peut être agrandie, inversée, découpée, assemblée, ce qui constitue un progrès énorme. [...] La méthode est longue, fastidieuse, sujette à des erreurs et annule le bénéfice de l'informatique. Le dessin assisté constitue une solution partielle et peu rentable en Architecture. » (Billon & Rocca, 1983, p. 24)*

Ils distinguent le DAO de la CAO par le rapport de ceux-ci à la troisième dimension du dessin : le DAO permet de dessiner en 2D et nécessite un travail supplémentaire pour générer de la 3D, alors que la CAO obtient rapidement un résultat en 3D, convertissable en dessin 2D. De cette deuxième option résulte par exemple la possibilité de générer des coupes calculées par le logiciel, et non plus dessinées par l'utilisateur.

*« Calquée sur les méthodes utilisées en mécanique, l'utilisateur décrit tout de suite en données chaque morceau de murs, de cloisons, de planchers, de toitures, de chaînage, de poutres, d'isolation, de revêtement et associe en même temps des informations sur les fonctions (façades, cloisons, porteurs), sur les matériaux, etc ... Un progrès considérable est réalisé par rapport au dessin assisté en plan, car cette fois les images ne sont pas dessinées par l'utilisateur mais générées automatiquement par le système. La méthode consiste à réaliser des coupes automatiques par explorations géométriques sur les objets 3 dimensions décrits et stockés dans une « base de données projet » (plans, coupes, façades, etc ...). » (Billon & Rocca, 1983, p. 24)*

La différence entre le DAO et la CAO identifiée dans cette citation réside dans la manière de communiquer les informations de l'homme vers la machine, et inversement. Dans le cas du DAO, l'information entrante est visuelle (un plan, une coupe, ...) mais non affectée à un sens pour le logiciel. Une ligne dessinée dans le logiciel a du sens pour l'utilisateur qui l'interprète, mais ne signifie rien d'autre que la représentation d'une ligne d'un point de vue numérique. L'information sortante est affichée dans le logiciel sous forme 2D et est visuellement identique à l'information encodée par l'utilisateur, car il s'agit d'une reproduction d'informations.

Pour ce qui est de la CAO, un sens est affecté à l'information fournie par l'utilisateur au moment de son encodage. L'information entrante est donc exprimée sous forme de donnée numérique liée à un sens, et l'information sortante est l'expression de cette donnée par le logiciel sous forme visuelle. L'information de départ n'a, par conséquent, pas la même forme d'expression que l'information sortante, car elle subit une transformation au cours du processus.

Roland Billon et François-Xavier Rocca considèrent cependant qu'il existe une limite à ce système, due à la très grande quantité d'informations qu'il est nécessaire de transmettre à la machine pour qu'elle soit ensuite capable d'exprimer avec précision un bâtiment. La tâche de communiquer toutes ces données au logiciel par encodage est également décrite comme fastidieuse et provoquerait même potentiellement un rejet chez l'utilisateur (Billon & Rocca, 1983).

Cependant, ils accordent plus de valeur à ce qu'ils appellent les « *logiciels de CAO de deuxième génération* », qu'ils différencient de ceux de la première génération dans « CAD and Robotics in Architecture and Construction » par un traitement de l'information plus pointu, lié à une forme d'intelligence artificielle aboutissant à la création de nouvelles informations par le logiciel lui-même.

*« Pour être rentable et utile, un logiciel de CAO en bâtiment doit être capable de produire beaucoup plus d'informations que l'utilisateur ne lui en fournit » (Bijl et al., 1986, p. 376).*

Entre le DAO et la CAO, le processus d'encodage est par conséquent radicalement différent. Dans le premier cas la forme prise par l'information en entrée est reproduite, mais dans le deuxième cas elle est transformée d'une forme textuelle vers une forme visuelle (Figure 9). Ces deux processus nécessitent des approches différentes de la part de l'utilisateur. La chronologie de ses actions dans le processus de conception est modifiée, particulièrement en ce qui concerne le timing de son emploi de l'outil numérique.

Gérard Hégron explique cela par le concept de modélisation impérative, qui correspond à la modélisation d'un projet dont les détails sont pensés avant l'emploi de l'outil numérique, et celui de modélisation déclarative dans laquelle le projet est conçu avec l'outil numérique à travers la

description de ses propriétés, qu'elles soient structurelles, volumétriques ou autre. Cependant, selon lui ces deux modes de représentation sont compatibles : le travail de conception peut se faire par modélisation déclarative et être ensuite concrétisé par modélisation impérative (Hégron, 2003). Cela se rapproche de la réalité de terrain, où l'idée d'origine est souvent pensée à l'aide de croquis avant d'être concrétisée et vérifiée à l'aide d'un logiciel. Cela permet de rendre concret un dessin aux propriétés initialement abstraites ou floues, caractéristiques spécifiques au dessin à la main. L'idée évolue ensuite directement dans le logiciel en fonction des contraintes qui apparaissent lors de la remise au « propre » du dessin, comme évoqué par Anne Tourpe dans la section précédente, et qui sont concrétisées par des mesures plus précises.

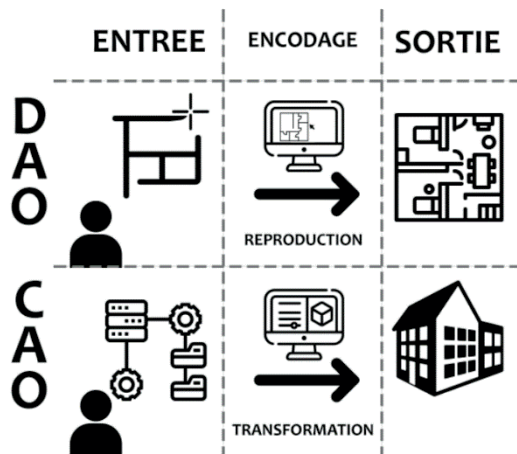


Figure 9 - Illustration des concepts de DAO et CAO vue par le concepteur

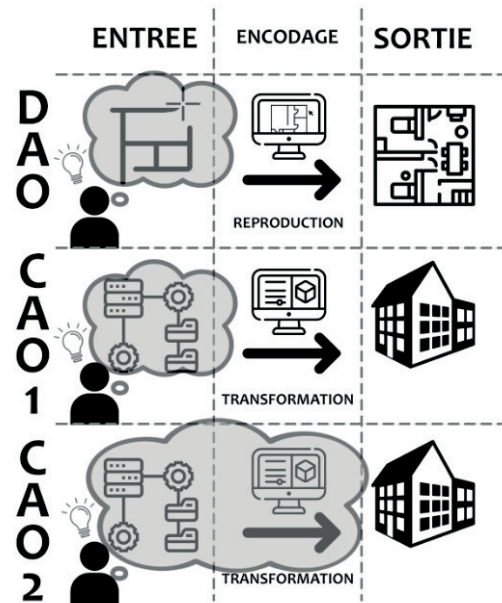


Figure 10 - Illustration de l'étendue de la phase de conception dans le DAO, et la CAO 1ere et 2eme génération, vue par le concepteur

Cette approche signifie que la CAO et le DAO correspondent à des processus de travail, qui se différencient aussi par le moment où interviennent les outils numériques dans l'acte de conception (Figure 10). Par conséquent, attribuer l'étiquette CAO ou DAO à un logiciel serait vain, car cela dépendrait principalement de la manière dont l'utilisateur en fait usage. Gérard Hégron considère cependant que les logiciels tels que Autocad ou CATIA ne sont pas des outils d'aide à la conception, malgré leur capacité à proposer « *de plus en plus de fonctions qui permettent de résoudre des contraintes ou propriétés géométriques complexes que l'opérateur ne saurait résoudre par lui-même* » (Hégron, 2003, p. 19). Il les classe plutôt dans une catégorie des outils d'aide à la modélisation.

Jean-Pierre Goulette et Patrick Perez citent quatre principes devant guider la conception d'un logiciel de CAO. Premièrement, le logiciel étant destiné à des utilisateurs architectes, ces derniers doivent pouvoir utiliser au sein du logiciel un vocabulaire qui leur est familier, qui fait appel à des expressions communément utilisées dans le domaine de l'architecture. Ensuite le logiciel doit être doté d'une base de données applicable aux objets architecturaux sous formes à la fois d'éléments graphiques, textuels et exprimés sous formes de valeurs numériques. Le logiciel doit également présenter une bonne ergonomie dans l'affichage et la visualisation du projet. Enfin, il fait lui aussi référence à l'importance du « geste » de l'architecte au début de la phase de conception, ce qui implique que le logiciel doit permettre de préserver ce geste et permettre à la fois de générer des

résultats flous, peu précis, et des résultats présentant un degré élevé de précision (Goulette & Pérez, 1987).

En définitive, si l'outil numérique reste un support de communication, avec la CAO il devient également un outil de réflexion. Cela modifie profondément la manière de concevoir, car cela laisse beaucoup plus de place à l'exploration. En parallèle, il ne faut pas oublier que le dessin a conservé chez les architectes une place très importante en phase d'idéation, comme nous l'avons expliqué dans les sections précédentes. Son emploi reste compatible avec l'utilisation des outils numériques, et il peut être couplé avec la théorie de Gérard Hégron selon laquelle le début du processus de conception peut tout à fait démarrer en modélisation impérative, puis être approfondi et exploré en modélisation déclarative. Dans ce cas, l'idéation démarre d'une inspiration posée initialement sur papier via des croquis, et l'idée est ensuite modélisée de manière impérative. Ce premier dessin digital sert ensuite de base pour explorer d'autres idées dans une phase de modélisation déclarative.

Avec l'évolution du DAO et de la CAO, les moyens de communication utilisés par les architectes pour exprimer leurs idées sont modifiés. Cependant, la figure du concepteur progresse en parallèle des évolutions logicielles. En effet, cette transition numérique a créé une modification du rôle de l'architecte, qui a de plus en plus été amené à collaborer avec ses pairs, mais aussi avec d'autres experts. Or, la collaboration tient une place de choix dans la définition du BIM. Dans la section suivante, nous nous intéressons aux différentes raisons qui ont conduit la communauté des architectes vers l'emploi du BIM pour mener à bien leurs projets.

### **1.2.3.3 Genèse du BIM : une triple rencontre**

La conception orientée objet évoquée par Engelbart dans les années 60 était visionnaire, mais nous avons vu ci-dessus qu'elle ne pouvait pas se concrétiser à l'époque faute de moyens technologiques. Nous avons également vu que l'évolution des modes de pensées, initiée au cours du second tournant digital, et le déplacement de la phase de conception de l'outil papier vers l'outil numérique, ont conduit la communauté des concepteurs à acquérir une forme de maturité numérique, ainsi que des capacités technologiques plus abouties.

De plus entre les années 1970 et 2000, de plus en plus d'études sont réalisées sur les technologies de l'information, et ensuite sur la société de l'information (S. Labelle, 2001). Cela témoigne d'un état d'esprit général devenu plus favorable à penser la société à travers le prisme de l'étude des échanges d'informations. Cela se répercute sur le secteur du bâtiment qui déploie les concepts de données et d'informations, et qui questionne les liens qui peuvent être faits entre ces éléments. Elodie Hochscheid nomme cela « *la révolution de la centralisation des données* », qu'elle décrit comme un « *passage des ressources d'informations statiques et fragmentées (plans, documents papier) vers des applications et ressources d'informations centralisées et dynamiques (bases de données en ligne, utilisables et évolutives)* » (Hochscheid, 2021, p. 51).

Les sections précédentes démontrent que le concept du BIM a évolué en parallèle du développement de la CAO « première génération », et bien qu'il s'agisse d'une forme de nouvelle génération de CAO, on ne peut pas situer chronologiquement le BIM comme étant uniquement la suite logique de la CAO. Il s'agit plutôt d'une rencontre entre la maturité numérique dans la communauté des architectes, le progrès des outils numériques, et un vieux rêve soudainement devenu réalisable. Et pour provoquer cette rencontre, il aura fallu que les deux tournants digitaux se produisent et fassent enfin passer le BIM d'un concept abstrait à un projet concret, devenu techniquement possible à réaliser.

Paradoxalement, même si le BIM n'est pas un logiciel mais un processus, le développement de logiciels BIM a participé à la popularisation du recours aux processus BIM, et non l'inverse. Dans un article relatant l'histoire du BIM, Vanessa Quirk explore la chronologie des premiers logiciels BIM. Elle identifie ArchiCAD, créé en 1982 par Gabor Bojar sur base du logiciel BDS que nous avons évoqué dans les sections précédentes, comme le premier logiciel BIM permettant de faire aboutir un projet architectural. En 2000, l'un des fondateurs d'ArchiCAD travaille sur une version améliorée de son premier logiciel pour l'entreprise Charles River Software, et crée Revit. Ce dernier sera plus tard racheté par Autodesk. Le déploiement de ces deux logiciels auprès des utilisateurs se déroule à partir de la deuxième moitié des années 2000.

*« Le lancement du logiciel est laborieux du fait que Bojar doit se battre avec un contexte économique défavorable et les limites techniques des ordinateurs personnels. ArchiCAD n'est pas par conséquent, à ce moment-là, utilisé sur des projets de grande ampleur. Le nombre d'utilisateurs d'ArchiCAD a fait un bond considérable entre 2007 et 2011, principalement en Europe, dans le cadre de projets résidentiels et commerciaux de petites tailles » (Quirk, 2012, p. 4).*

Modéliser à partir de relations nécessite le recours à une base de données qui est exploitable. De plus, « l'outil » étant devenu « les outils », le métier d'architecte se transforme d'un super généraliste vers plusieurs spécialistes, modèle nécessaire à la gestion d'une quantité d'informations et d'un besoin en compétences grandissants. Cela nécessite une révision des méthodes de travail. Or la structure du BIM, orientée objet et basée sur la mise en relation des données, permet de répondre à ces besoins. Cette structure en réseaux permet également d'envisager une marge de progression forte pour les processus BIM, puisqu'elle peut être adaptée à plusieurs thématiques et considérer de nouveaux liens entre les données selon les besoins du concepteur.

De plus, aujourd'hui les processus BIM tendent à être de plus en plus utilisés. Ils sont en tout cas encouragés par des stratégies nationales qui se développent dans le but d'outiller les concepteurs, avec une volonté politique de réaliser une transition numérique dans le secteur de la construction : par exemple, en France, le gouvernement a mis sur pied depuis 2014 le Plan de Transition Numérique du Bâtiment (PTNB).

#### **1.2.3.4 Synthèse**

Nous avons pu observer que l'évolution des modes de pensées chez les concepteurs s'est déroulée progressivement et en parallèle de l'évolution des outils employés par ces derniers. La mise en place de la méthodologie à l'origine du BIM s'est concrétisée dans les années 2000 à travers des projets complexes de grande envergure (Sattler & Maigne, 2018) mais l'idée d'une conception architecturale assistée par des outils numériques est évoquée à partir des années 1960 (Engelbart, 1962; Picon, 2014). Charles Eastman envisage assez tôt une description des usages des outils numériques basée sur l'automatisation et la banque de données (Eastman, 1975), dans le but d'assister le concepteur dans son travail de conception, et non plus seulement de lui permettre de dessiner.

En intégrant ces principes au DAO, qui était apparu pendant la première phase de cette transition, les concepteurs ont découvert la CAO. Cette évolution a associé l'acte de conception du projet à l'outil numérique, alors que précédemment ces deux éléments étaient distincts l'un de l'autre. De plus, avec la CAO, le produit sortant devient un fichier constitué d'informations techniques sur les éléments qui le composent, tandis que la DAO n'identifiait pas les éléments de dessin en tant



qu'objets chargés de sens. L'outil numérique est devenu au cours de cette deuxième phase de la transition numérique un outil de réflexion, en plus de l'outil de communication qu'il était déjà devenu lors de la première phase de la transition.

La transition des outils et des modes de pensées a permis la réalisation d'une forme de maturité numérique chez les concepteurs. Couplée avec la progression des outils numériques, les bâtiments commencent à être décrits à travers des banques d'informations associées à des objets numériques, dans une logique de « *révolution de la centralisation des données* » (Hochscheid, 2021, p. 51). Cette conjoncture fut favorable pour rendre le concept du BIM concret et réaliste

Le numérique en architecture a été initié par des concepteurs, pour répondre à leurs besoins spécifiques. Le BIM se positionne comme un outil de médiation entre l'architecte et le potentiel du numérique. C'est donc assez naturellement que notre recherche s'est orientée vers le BIM, car nous souhaitons explorer les possibilités offertes par sa structure pour positionner les processus BIM dans l'étude de la durabilité des projets, et plus particulièrement dans l'intégration d'une approche socialement durable dans les projets de construction.

### 1.3 Conclusion du chapitre

Pour terminer ce chapitre de contextualisation, nous pouvons constater que les acteurs de la construction ont traversé, et traversent encore, deux périodes de transitions qui affectent à la fois la société dans son ensemble, mais aussi leurs pratiques de professionnels. Ces deux transitions concernent à la fois la prise de conscience des impacts environnementaux des activités humaines, et l'évolution des pratiques numériques dans la société en général mais aussi dans le travail des concepteurs de projets architecturaux.

Dans un premier temps, ces deux transitions se sont déroulées séparément, touchant des acteurs différents. La transition durable est issue d'acteurs scientifiques et politiques qui se sont exprimés à travers des conférences internationales, dans une logique de dispersion vers le bas de type top-down menée par des référentiels réglementaires imposés par les institutions gouvernantes. A l'opposé, la transition numérique en architecture est issue des concepteurs eux-mêmes, portés par quelques précurseurs qui ont testé, manipulé et rêvé seuls avant que le phénomène ne se répande dans tout le secteur, jusqu'à devenir une volonté étatique, comme c'est le cas par exemple en France où le secteur de la construction fait l'objet d'un « Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment » (PTNB, 2017). La transition durable a donc été mise en place à travers un processus d'obligation, tandis que la transition numérique s'est ancrée à travers la notion d'appropriation.

Dans cette thèse, nous avons pris la décision de confronter ces deux transitions car, bien que l'approche des concepteurs ait été différente, voire opposée, elles sont complémentaires. En effet, la transition durable a généré pour les concepteurs l'arrivée de nouvelles contraintes, majoritairement portées sur les performances et les qualités énergétiques des bâtiments. En parallèle, la transition numérique a permis aux concepteurs d'aborder leur travail sous l'angle de la gestion des données, permettant ainsi d'intégrer plus d'informations dans les projets. De cette manière, et en particulier dans les processus BIM, les moyens de communication des concepteurs sont devenus suffisamment flexibles pour ajouter et gérer avec plus de facilités un nouveau type d'information, telles que les informations relatives à la durabilité.

Pour nous permettre par après d'identifier comment le BIM peut être utilisé pour favoriser la transition durable du bâtiment, nous allons d'abord caractériser dans le chapitre suivant l'architecture durable, la durabilité sociale, ainsi que la notion de BIM.

## **CHAPITRE 2 : DÉFINITIONS – ARCHITECTURE DURABLE, DURABILITÉ SOCIALE ET BIM**

Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux approches définitionnelles de l'architecture durable, de la durabilité sociale et du BIM.

### **2.1 Définition de l'architecture durable, une approche transdisciplinaire**

Avec sa popularisation, le concept de durabilité s'est vu appliqué à plusieurs domaines de la société. Mise en évidence dans le rapport « The limits to growth » (Meadows et al., 1972), la prise de conscience du non-sens, que représente la volonté d'exploiter de manière illimitée des ressources finies, a remis en question nos modèles de production, y compris en architecture. Plusieurs problématiques sont alors mises en évidence, entre autres : la consommation énergétique des bâtiments, la production de CO<sub>2</sub> du secteur dans tout son cycle, le recours à des matériaux qui sont polluants et/ou basés sur l'extraction de ressources fossiles et l'artificialisation des sols.

Cependant, l'étude du bâtiment à travers ses impacts a porté plusieurs noms dans la littérature : architecture écologique, architecture verte, architecture passive ou encore architecture durable. C'est cette dernière dénomination que nous choisissons d'utiliser dans la suite du document. Sa référence à la durabilité définie par Brundtland offre une approche globale et plurielle, qui fait référence à la capacité des bâtiments à être pertinents dans le temps. Au contraire des autres appellations, elle permet d'intégrer des aspects qui vont au-delà du pilier écologique.

Pour comprendre les différents rôles dans le déséquilibre environnemental engendré par la construction d'un bâtiment, nous utiliserons le concept de limites planétaires. Il s'agit d'une notion développée en 2009 par un collectif de chercheurs (Steffen et al., 2015). Ce concept vise à illustrer la planète Terre en tant que système, à travers neuf limites permettant de conserver un équilibre garantissant un espace sûr pour l'épanouissement de l'humanité. L'objectif de cette recherche est d'identifier et quantifier les capacités de notre écosystème à conserver cet équilibre, afin d'empêcher les activités humaines de provoquer des changements environnementaux inacceptables (Rockström et al., 2009). Les limites sont au nombre de neuf et concernent le changement climatique, l'atteinte à la biodiversité, l'acidification des océans, l'affaiblissement de la couche d'ozone, le cycle du phosphore et de l'azote, l'utilisation de l'eau douce, les pertes de sol, la charge atmosphérique en aérosols et la pollution chimique. Lorsque la capacité maximale de ces limites est dépassée, le système bascule dans un nouvel équilibre et des changements environnementaux soudains et irréversibles sont possibles (Steffen et al., 2015). En 2023, six de ces limites sont considérées comme ayant déjà été dépassées, la dernière en date étant la sous-section « eau verte » de la limite « changements d'eau douce » (Wang-Erlandsson et al., 2022). Deux d'entre elles, la diversité fonctionnelle et l'accumulation d'aérosols dans l'atmosphère, n'ont été quantifiables par la communauté scientifique que depuis septembre 2023 (Figure 11) (Richardson et al., 2023).

Les limites les plus en péril sont celles de l'intégrité de la biosphère, sous-catégorisée d'une part en diversité fonctionnelle et d'autre part en diversité génétique, et la perturbation des cycles biogéochimiques (phosphore et azote). Plus récemment, la limite liée aux nouvelles entités, qui correspondent aux entités nouvellement introduites dans le système, telles que les perturbateurs endocriniens, les OGM, les déchets nucléaires ou les métaux lourds (Tanner et al., 2022).

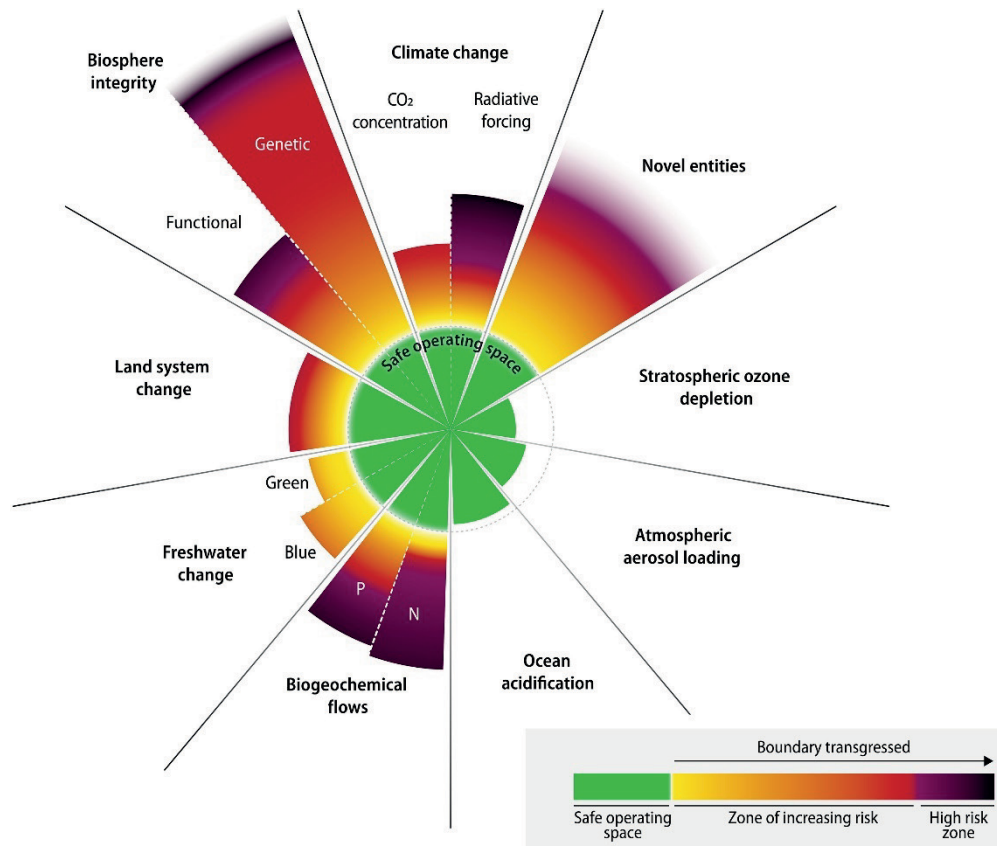


Figure 11 - Le dépassement des limites planétaires (Richardson et al., 2023)

De plus, les limites sont interconnectées, ce qui signifie qu'elles s'influencent entre elles. Par exemple, la transformation des milieux terrestres et l'acidification des océans accélèrent le changement climatique.

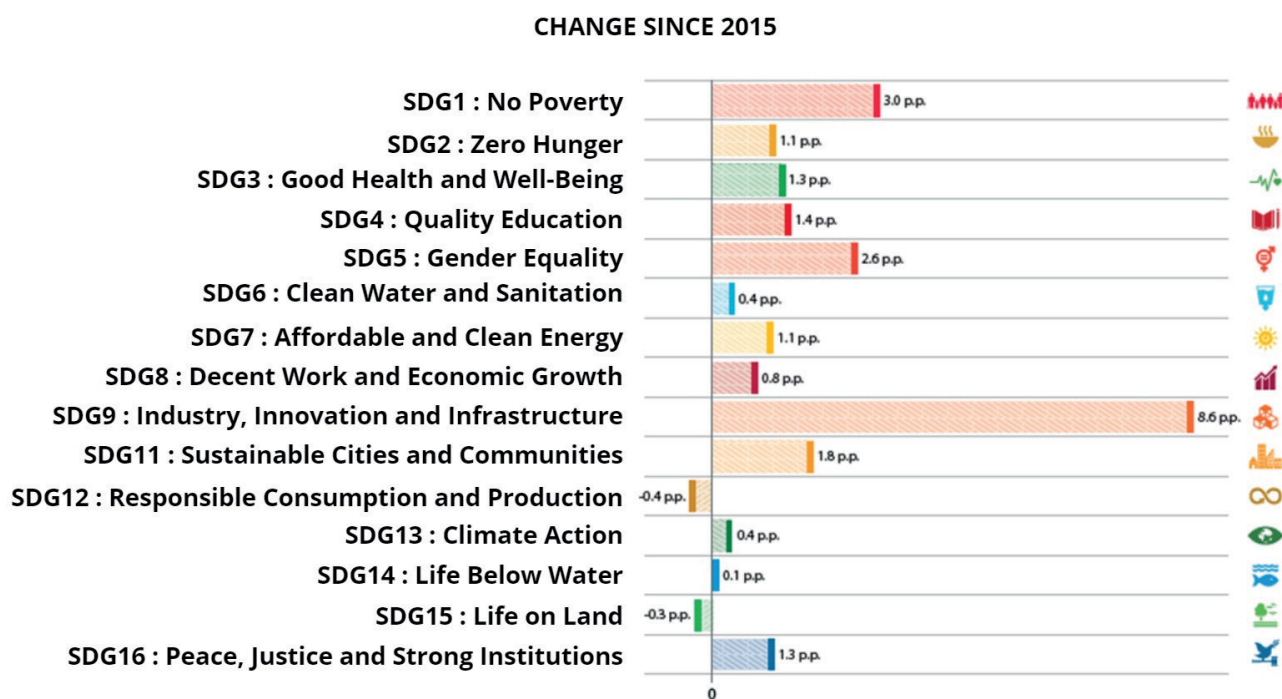
Ces limites se concentrent sur le système Terre en tant que biosphère. Par conséquent les limites proposées dans l'étude sont des éléments qui, lorsque leur équilibre n'est pas respecté, peuvent dégrader l'ensemble du vivant, qu'il soit végétal, animal ou humain, bien que la manière dont ces thèmes impactent l'humanité ne soit pas intégrée dans l'illustration. L'existence de ces limites n'a pas pour objectif de protéger la planète Terre par principe, mais plutôt de préserver l'équilibre de l'habitat naturel de l'être humain. De premier abord, le concept de limites planétaires peut sembler ne s'intéresser qu'au pilier écologique, mais il est donc en réalité directement relié au pilier social car l'objectif de l'établissement de ces limites est de protéger la qualité de vie de tous les êtres humains.

Dans les sections suivantes, nous allons définir ce que représente l'architecture durable à travers les objectifs de développement durable, à travers les définitions existantes établies par d'autres auteurs, et à travers les stratégies favorisant la durabilité, en apportant un focus sur la durabilité sociale des bâtiments.

## 2.1.1 L'architecture durable à travers les Objectifs de Développement Durable

Les Objectifs de Développement Durable (ODD) sont 17 objectifs adoptés en 2015 par les Nations Unies, et correspondant à une ligne de conduite à échelle mondiale dont le but est d' « éradiquer la pauvreté, protéger la Planète et faire en sorte que tous les êtres humains vivent dans la paix et la prospérité d'ici à 2030 » (Nations Unies, 2023). Dans un rapport publié par l'Université de Cambridge, la Belgique est classée 5<sup>ème</sup> avec un score de 82,2% et la France 8<sup>ème</sup> avec un score de 81,7% dans une liste évaluant les efforts de 165 pays dans leur performance pour la réalisation de tous les ODD considérés à part égale (J. Sachs et al., 2021). Cela signifie, par exemple, que la Belgique est proche à 81,7% du meilleur résultat possible pour la réalisation des 17 ODD sur son territoire.

Concernant l'objectif 11, « Villes et communautés durables », les pays affichant un meilleur score sont ceux faisant partie de l'Organisation de coopération et de Développement Economique (OCDE) avec une moyenne de plus de 85%. A l'échelle du monde, l'ODD 11 est le 4<sup>ème</sup> dans le calcul de progression d'objectif depuis 2015, mais il se trouve loin derrière l'ODD 9 « Industrie, innovation et infrastructure », qui devance tous les autres objectifs (Figure 12) (J. Sachs et al., 2021).



Note : Population-weighted averages. Insufficient data for SDG 10 (Reduced Inequalities) and SDG 17 (Partnerships for the Goals). Time series data for SDG 12 (Responsible Consumption and Production) is only based on the indicator "Electronic waste (kg/capita)".

Figure 12 - Progrès dans le monde pour chaque ODD depuis 2015 en points de pourcentage (Sachs et al., 2021)

Dans la stratégie de la région wallonne, l'ODD « Villes et communautés durables » est composé de cinq thématiques : la salubrité des logements, l'accessibilité aux transports en commun, la superficie résidentielle par habitant, le taux d'artificialisation du territoire, et les émissions atmosphériques de particules fines (Service Public de Wallonie & Institut wallon de l'évaluation, de la prospective et de la statistique, 2019). Cependant, cet objectif ne recouvre qu'une partie des

enjeux de la durabilité du secteur de la construction. Nos logements sont intimement liés à nos modes de vie et impactent directement notre confort et notre santé. Ils mobilisent de l'espace, des matériaux, de l'énergie, de l'eau, des ressources humaines, et ce tant pour être construits que pour perdurer dans le temps. Ce côté écosystémique est évoqué par Elizabeth de Portzamparc :

*« (...) cette notion d'architecture écosystémique ou de liens consiste à envisager l'ensemble des relations qu'un bâtiment peut entretenir avec son contexte, son environnement, mais aussi avec son contexte intérieur, avec les usages, avec l'homme »  
(Portzamparc & Wieviorka, 2020, p. 18)*

Cette description met en évidence la multiplicité des interactions du bâtiment avec le milieu, humain et non humain. Multiplicité qui génère des liens avec d'autres ODD : le septième, qui traite des énergies propres à un coût abordable, le neuvième, lié à l'industrie, l'innovation et les infrastructures, le douzième, traitant de la consommation et production responsable ou encore le quatorzième et le quinzième, traitant respectivement le sujet de la vie aquatique et de la vie terrestre.

Ces ODD sont principalement liés à la sphère écologique ou économique. D'autres critères à coloration plus sociale peuvent également être mis en lien avec l'architecture durable, comme celui de la bonne santé et du bien-être qui correspond au troisième ODD. De nombreuses études ont fait la démonstration du lien entre l'architecture et la santé (Dannenberg & Burpee, 2018). La thématique a été largement étudiée, à travers plusieurs approches : entre autres la santé mentale (Connellan et al., 2013; Guenther, 2009), la qualité de l'environnement et des espaces dans les hôpitaux (Devlin & Arneill, 2003; Ulrich, 2006), la qualité intérieure de l'air (N. A. Megahed & Ghoneim, 2021; Micolier, 2021) ou encore le bien-être dans sa globalité (Channon, 2018; Jones et al., 2019; Petermans & Pohlmeier, 2014; D. Smith et al., 2012).

Tout cela illustre les enjeux que l'architecture peut représenter pour la durabilité de la société. Le concept d'architecture durable peut sembler redondant, puisque le cœur du métier d'architecte a toujours été de réaliser des bâtiments suffisamment solides pour rester fonctionnels et en bon état dans la durée, répondant aux besoins de leurs occupants, et s'adaptant au contexte immédiat du bâtiment. Une architecture réussie est durable par définition (Owen & Dovey, 2008).

Cependant, la vision de Vitruve « *firmitas, utilitas, venustas* » (Vitruvius, 2015) qui se référait à la solidité, l'utilité et la beauté ne suffit plus, face aux enjeux actuels, à définir ce qu'est une architecture réussie. En 1972, le Président de l'Institut Royal des Architectes Britanniques évoque en parlant de « la bonne architecture » la durabilité dans le temps, la capacité d'adaptation aux changements et la faible consommation d'énergie (Langston, 2014). Il ajoute donc la notion d'énergie, qui est la première porte d'entrée des architectes vers la durabilité, mais ne fait plus référence à la beauté ou à l'esthétique du bâtiment.

On constate également que l'étude de l'impact des œuvres architecturales s'est longtemps limitée à l'échelle du bâtiment, ou au mieux de la ville. Prêter attention aux impacts secondaires du bâtiment sur l'environnement, c'est-à-dire sur l'environnement de manière globale et plus uniquement sur son environnement immédiat, est une vision plus récente. Ce changement d'échelle dans la durabilité des architectures est conditionné par la prise de conscience environnementale de la société, décrite dans le chapitre précédent. Il est donc normal que ce point de vue n'ait pas été beaucoup exploré avant les années 70.

La représentation de l'architecture durable a donc évolué à travers différentes visions, en s'actualisant avec les enjeux de société. Dans la section suivante, nous approcherons le concept d'architecture durable à travers les définitions qui en ont été données dans la littérature.

### **2.1.2 L'architecture durable à travers les approches définitionnelles des auteurs du début des années 2000 à aujourd'hui**

Dimitri Toubanos constate l'absence d'une définition unanime de la notion d'architecture durable. Cependant il relève trois enjeux : l'énergie, la pérennité et le milieu. Il définit alors l'architecture durable comme une conception :

*« qui répond à l'enjeu énergétique, interroge la notion du temps et de la pérennité et prend en compte le milieu dans lequel se situe le projet » (Toubanos, 2018, p. 462).*

Cette définition part notamment du constat de la place qu'a prise la thématique de l'énergie dans les débats, et fait le choix de la placer au cœur de la notion d'architecture durable.

Nous préférons choisir une vision plus globale, telle que celle d'Aliki-Myrto Perysinaki qui applique une approche holistique développée à partir de la définition du développement durable présentée dans le rapport Brundtland. Il évoque à la fois une « *architecture socialement équitable, écologiquement soutenable et économiquement viable, du low-tech au high-tech* », et « *l'impératif de durabilité des projets dans le temps, et celui d'acceptabilité sociale et environnementale* » (Perysinaki, 2012, p. 7). L'intérêt de cette définition est de laisser la place à plusieurs approches, tant qu'elles tiennent compte de la temporalité et des trois piliers du développement durable tels que définis par le rapport Brundtland (Brundtland, 1987). La référence au low-tech et au high-tech permet aussi d'aborder le sujet sous deux angles qui ont parfois tendance à s'opposer, mais gagneraient sans doute à se nourrir l'un de l'autre.

La même approche organisée autour des trois piliers du développement durable est utilisée par Niklaus Kohler (Figure 13) (Kohler, 1999). Il redivise chacun des piliers en critères : la protection des ressources et des écosystèmes pour le pilier écologique, la productivité à long terme des ressources et le faible coût d'exploitation pour le pilier économique et la protection du confort et de la santé ainsi que la préservation des valeurs sociales et culturelles pour le pilier social. Les notions de protection et de préservation sont très présentes dans cette définition. On peut noter qu'il n'y est pas fait mention de la performance énergétique, Niklaus Kohler préférant utiliser le terme « ressources », qui englobe plus d'éléments et peut être également assimilé aux matériaux.

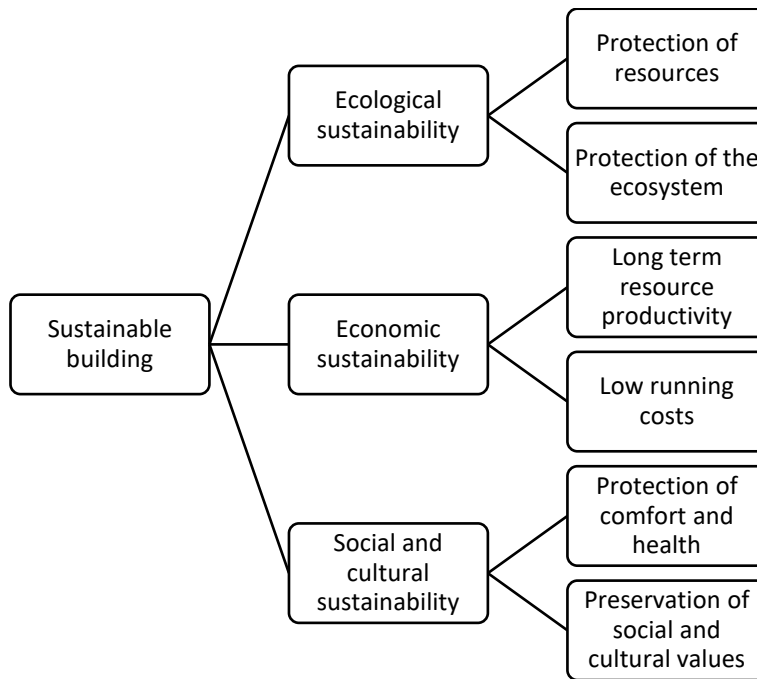


Figure 13 - Les trois dimensions de la durabilité et leurs objectifs pour les bâtiments d'après (Kohler, 1999)

Dans son travail, Niklaus Kohler associe le pilier social à la notion de culture. Il est illustré par le confort, la santé et la protection des valeurs sociales et culturelles. Selon lui, le confort et la santé sont intimement liés car des situations d'inconfort sont bien souvent générées par un environnement non sain. Cela peut être un taux d'humidité trop élevé, ou une mauvaise qualité de l'air par exemple. Il souligne que l'aspect culturel ne relève pas uniquement d'une question de climat, de matériaux ou de techniques propres à un territoire. Les valeurs culturelles sont également liées à l'environnement bâti, la signification et la symbolique des bâtiments, ou leur valeur historique (Kohler, 1999).

Vischer définit la notion de confort dans le bâtiment comme étant construite à partir de trois niveaux : le confort physique, le confort fonctionnel et le confort psychologique (Figure 14) (Vischer, 2008). Le confort physique correspond au confort ressenti de manière physique. Cela peut être lié à la lumière, la ventilation, l'humidité ou la qualité de l'air (Mohora, 2019), mais également la sécurité, l'hygiène et l'accessibilité. Ces éléments sont liés aux normes de la construction. Le confort fonctionnel est lié à la fonctionnalité des espaces et au potentiel que représente l'agencement pour faciliter la réalisation des fonctions prévues dans le bâtiment. Enfin, le confort psychologique comprend le sentiment d'appartenance et le contrôle sur son environnement (Vischer, 2008).



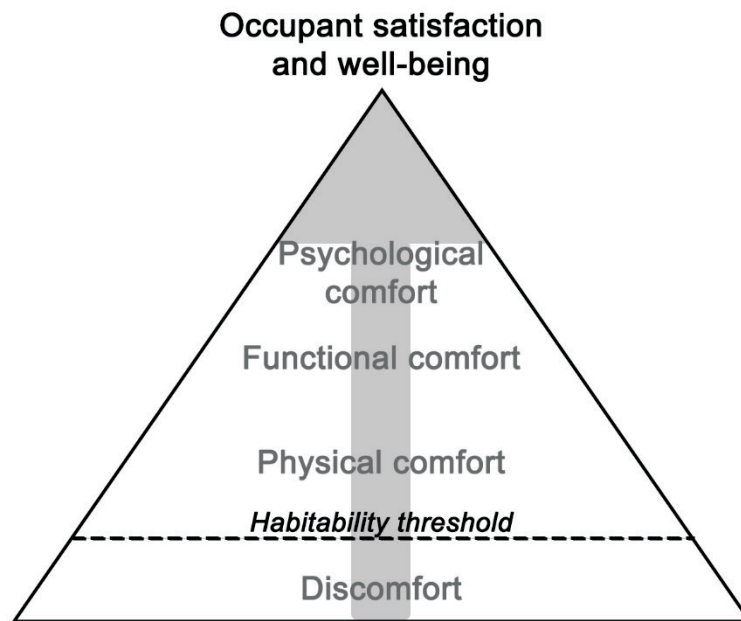


Figure 14 - Hiérarchisation des types de confort (Vischer, 2008)

Paola Sassi organise sa définition de l'architecture durable autour de six thématiques : le site et l'utilisation du sol, la communauté, la santé et le bien-être, les matériaux, l'énergie et l'eau. Deux de ces thématiques relèvent du pilier social de manière directe : la communauté, et la santé et le bien-être. Ces deux points sont eux-mêmes organisés autour de plusieurs thématiques (Tableau 5) (Sassi, 2006).

Communauté	Santé et bien-être
Participation de la communauté	Pollution de l'air intérieur
Accès à un logement décent pour tous	Humidité
Education et emploi	Lumière
Amélioration de la qualité de vie	Couleurs
Promotion de la durabilité	Proportions harmonieuses
Mobilité	Ergonomie
	Espaces verts
	Echelle humaine

Tableau 5 - Le bâtiment durable selon Paola Sassi : Communauté, santé et bien-être (Sassi, 2006)

Dans cette approche, la partie « santé et bien-être » renvoie à l'approche par les ODD, en détaillant plus en profondeur les critères qui se trouvent derrière ce concept.

On peut constater l'importance des enjeux énergétiques et de la préservation des ressources, qui sont récurrents dans ces définitions. On observe également que le pilier social est abordé de manière très hétérogène. Il est assimilé à l'acceptabilité sociale pour Aiki-Myrto Perysinaki, à la culture et au confort par Niklaus Kohler, et à la communauté, la santé et au bien-être pour Paola Sassi (Tableau 6).

Auteur	Date	Mots-clés
Kohler	1999	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protection des ressources</li> <li>- Protection des écosystèmes</li> <li>- Productivité à long terme des ressources</li> <li>- Faible coût d'exploitation</li> <li>- Protection du confort et de la santé</li> <li>- Préservation des valeurs sociales et culturelles</li> </ul>
Sassi	2006	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Site et utilisation du sol</li> <li>- Communauté</li> <li>- Santé et bien-être</li> <li>- Matériaux</li> <li>- Energie</li> <li>- Eau</li> </ul>
Perysinaki	2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Socialement équitable</li> <li>- Ecologiquement soutenable</li> <li>- Economiquement viable</li> <li>- Low-tech et high-tech</li> <li>- Durabilité dans le temps</li> <li>- Acceptabilité sociale et environnementale</li> </ul>
Toubanos	2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energie</li> <li>- Pérennité</li> <li>- Milieu</li> </ul>

Tableau 6 - Concepts relatifs à l'architecture durable

### 2.1.3 L'architecture durable franco-belge à travers les stratégies favorisant la durabilité

Dans le secteur de la construction, la durabilité s'exprime très souvent par des référentiels auxquels il faut convenir.

*« Les projets d'aménagement portant le sceau du durable se caractérisent par l'application de procédés de conception et de fabrication standardisés, l'emploi d'outils identiques et d'instruments normatifs (chartes, démarches, labels et autres instruments d'évaluation essentiellement environnementaux et techniques) » (Adam, 2017, p. 4)*

La thématique de la durabilité fait l'objet de réglementations appliquées aux bâtiments. Certaines ont un caractère obligatoire, comme la réglementation Q-Zen en Belgique. D'autres sont des labels qui peuvent constituer un parti pris du maître d'ouvrage, comme les labels LEED ou BREEAM, qui sont utilisés à échelle internationale. Ces derniers peuvent être obtenus si le bâtiment remplit un certain nombre de critères. Critères qui sont majoritairement tournés vers la thématique de l'énergie, alors que les problématiques sociales sont plutôt mises de côté dans ce genre d'outils (Adam, 2017). Il existe cependant, également à l'échelle internationale, une certification WELL portée sur le bien-être et la santé des usagers d'un espace. Cette certification est organisée autour de dix objectifs qui s'imbriquent dans une vision qui se veut holistique (Figure 15) (International WELL Building Institute, 2023). Les principes qui guident la démarche sont l'équité, les actions globales, la rigueur des données, la robustesse technique, la prise en compte du client et la résilience.

The WELL Standard is a library of over 500 evidence-based, design, policy and operational strategies that, when implemented, can improve the health and well-being of your people.

- Make the air better to breathe
- Ensure the water is safe to drink
- Mitigate burnout
- Boost sleep and cognitive well-being
- Foster a culture of health
- Select healthier materials
- Advance diversity, equity and inclusion
- Encourage daily movement
- Address the diverse needs of hybrid, remote and in-person workforces



Figure 15 - Les dix axes de la certification WELL, extrait du site internet wellcertified.com (International WELL Building Institute, 2023)

Quelques études se sont intéressées à l'efficacité de la certification WELL. Dans une recherche comparant 14 bureaux, dont 10 étaient certifiés WELL, il est apparu que ces derniers semblaient offrir une plus grande satisfaction en termes de configuration physique de l'espace et de procédures organisationnelles internes. Cependant l'aspect santé semblait être moins performant (Marzban et al., 2023). Dans une autre étude comparant la satisfactions des occupants de trois bâtiments avant et après l'obtention de la certification WELL, il est conclu que les améliorations liées à la propreté et au mobilier sont appréciées par les occupants, mais que les améliorations liées au confort acoustique et visuel étaient non significatives (Licina & Yildirim, 2021). Une analyse de la qualité intérieure de l'air a révélé que la majorité des polluants atmosphériques étaient présents en quantité similaire dans les bâtiments WELL et non WELL, mais les occupants ont estimé que les environnements WELL étaient plus confortables, y compris au niveau de la qualité de l'air (Licina & Langer, 2021). Les apports de cette certification semblent donc être mitigés, cependant les recherches sur ce sujet sont peu nombreuses et la certification étant récente, il est possible qu'elle soit améliorée dans le futur.

Ces initiatives favorisant une construction plus durable se sont développées depuis la fin du siècle dernier. Dans un premier temps, elles ont été principalement axées sur les performances énergétiques des bâtiments, comme en témoignent les réglementations thermiques en vigueur depuis 1974 en France (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2019) et 1985 en Belgique (Spies, 2013). Plus récemment, l'empreinte carbone des matériaux et le cycle de vie des bâtiments sont également pris en compte (Dautremont et al., 2018) et constituent un potentiel d'amélioration important pour les années à venir. On peut donc estimer qu'il y a un intérêt pour le durable dans le secteur de la construction à l'échelle nationale depuis les années 70 en France et 80 en Belgique.

Dans les paragraphes suivants, nous présentons trois stratégies utilisées dans le secteur de la construction pour améliorer la durabilité des bâtiments : l'approche énergétique, les outils d'évaluation et l'Analyse du Cycle de Vie (ACV). Ces stratégies peuvent être combinées pour co-exister au sein d'un même projet, car elles sont complémentaires.

La consommation d'énergie est le critère le plus étudié dans les bâtiments durables. Face aux autres critères de durabilité, il est le plus réglementé et a d'ailleurs pendant longtemps été le seul critère pris en compte, comme nous l'expliquons dans le chapitre 1. Les réglementations récentes, notamment en France, s'ouvrent de plus en plus à l'intégration d'autres critères comme par exemple

celui de la production de carbone à travers le label E+C- (Costes et al., 2022). Six facteurs peuvent influencer les performances énergétiques : l'enveloppe du bâtiment (isolation), l'équipement technique, la maintenance, le climat, les habitudes d'utilisation des occupants et la qualité des espaces à l'intérieur du bâtiment (Ruellan & Attia, 2016). Ce sont souvent les deux premiers qui sont perçus comme leviers d'action principaux. L'utilisation d'énergies renouvelables est également perçue comme un moyen d'optimiser la performance énergétique des bâtiments. On parle du « Trias Energetica », qui consiste en la réduction de la demande d'énergie, l'utilisation des sources d'énergie renouvelables dans la mesure du possible et l'utilisation des combustibles fossiles pour combler les besoins restants, et ce de manière aussi propre que possible (Vandevyvere & Stremke, 2012). Ce principe en trois volets existe également dans les thématiques de l'utilisation de l'espace, des matériaux, des transports et de la consommation d'eau (Entrop & Brouwers, 2010)

En ce qui concerne le cadre réglementaire, plusieurs certificats ou labels sont existants sur le marché belge et français. Toujours dans un but de diminution des pertes énergétiques dans le bâtiment, on évoque en France, les bâtiments à énergie positive (BEPOS) et les bâtiments basse consommation (BBC). En Belgique on parle de maisons passives et des bâtiments quasi zéro énergie (Q-ZEN ou nZEB). Si la totalité de ces réglementations n'est pas encore à caractère obligatoire, elle est cependant en bonne voie de l'être dans les années à venir et démontre une volonté de la part du législateur d'améliorer la consommation d'énergie dans le milieu de la construction. Cela peut se comprendre quand on constate la part de responsabilité importante que peut avoir le bâtiment dans les problèmes liés au développement durable. En effet, le secteur de la construction est à l'origine de la consommation de 50% des ressources naturelles, et est responsable de 35% des émissions de gaz à effet de serre. Par ailleurs le secteur du logement représente 70% de la consommation d'eau (Prudhomme, 2021).

Etant donné que la notion de développement durable appelle elle-même à la croissance économique, qui en représente l'un des trois piliers (Brundtland, 1987), la compétitivité du secteur ne devrait pas être affaiblie par les réglementations environnementales. Selon Philippe Deshayes, c'est l'innovation qui est utilisée comme un facteur de croissance pour améliorer les performances du bâtiment, des matériaux, des chantiers et de ses acteurs. Elle permet aussi de répondre aux normes environnementales. L'offre compétitive d'innovation produits devient le moyen d'action du secteur face aux enjeux du développement durable. Le besoin de gestion des ressources naturelles et d'amélioration des performances, y compris énergétiques, nourrit une politique d'innovation dans le milieu. Elle est axée en partie sur les choix de conception soutenus par des outils d'optimisation. Un autre levier mentionné par Philippe Deshayes est celui de l'évolution des pratiques par le renforcement de la coopération entre acteurs. Il avance qu'aller au-delà du seul pilier économique, c'est-à-dire prendre aussi en compte les aspects environnementaux et sociaux, doit se faire en liant dès le début du projet toutes les parties prenantes, qu'elles soient non-initiées comme le client, ou spécialistes comme les experts environnementaux (Deshayes, 2012). Dans ce cas, le BIM, en tant qu'innovation des processus de communication et de conception, pourrait être un levier d'action favorisant les démarches de développement durable dans la construction.

Enfin, une autre stratégie consiste à recourir aux outils d'Analyse du Cycle de Vie (ACV). A ses débuts, le concept d'analyse de cycle de vie dans la construction servait uniquement à calculer les coûts sur toute la durée de vie des bâtiments (Ruegg et al., 1980; Taylor, 1981) . Depuis, le concept s'est étendu au calcul des énergies et émissions carbonées produites lors de la construction du bâtiment, de son exploitation et de sa déconstruction. Les ACV sont sujettes à la norme ISO14040, dont la première version date de 1997. Cette norme définit l'ACV comme étant une « *compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels*

d'un système de produits au cours de son cycle de vie » (Comité technique ISO/TC 207, 2006). Les différentes phases de vie du bâtiment émettrices de CO<sub>2</sub> qui sont prises en compte dans les ACV sont l'extraction, la transformation et le transport des matériaux, la construction du projet, la maintenance du bâtiment et sa démolition ou rénovation selon les cas (Figure 16) (Liu, Meng, et al., 2015).

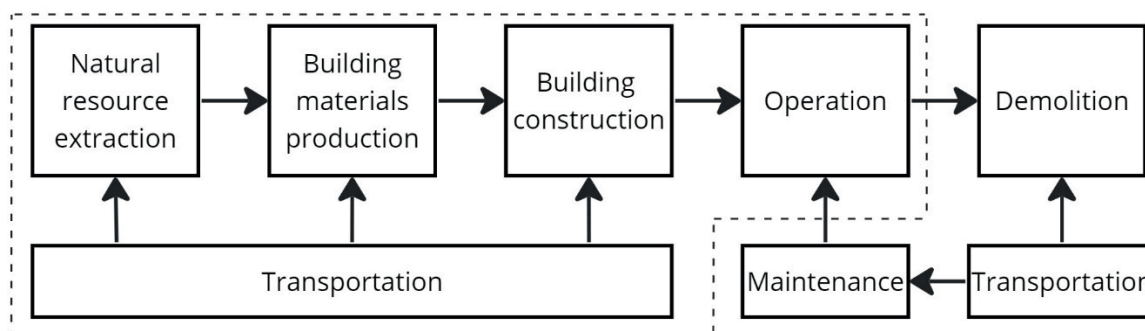


Figure 16 - Cycle de vie des bâtiments (Liu et al., 2015)

De nombreux logiciels sont disponibles pour réaliser des ACV. Les organisations gouvernementales belges et françaises ont notamment développé leurs propres outils. En Belgique, un outil dédié aux calculs des ACV est développé en 2011 via une collaboration entre l'Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM), le Service Public de Wallonie (SPW) et Bruxelles Environnement. Il s'agit d'un outil d'aide à la décision appelé TOTEM, acronyme de « Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials ». Il a pour but d'évaluer l'impact des matériaux de construction afin de promouvoir auprès des concepteurs de projets des choix plus durables (Bruxelles Environnement, 2021). En France l'ADEME développe la Base Impacts. Sur le site de l'outil, la Base Impact est définie comme « la base de données génériques d'inventaire officielles pour le programme gouvernemental français d'affichage environnemental des produits de grande consommation » (ADEME, 2020). Cette base est remplacée en avril 2023 par la Base Empreinte qui consiste en une fusion entre Base Impacts et Base Carbone.

*« [Base Empreinte est] la base de données publique et générique de facteurs d'émission et de jeux de données d'inventaire nécessaires à la réalisation d'exercices de comptabilité carbone et de calculs d'empreinte environnementale. Elle est administrée par l'ADEME, mais sa gouvernance est multi-acteurs et les contributions sont ouvertes » (ADEME, 2023).*

Le concept d'ACV est principalement tourné vers la quantification du CO<sub>2</sub>, et la définition de la norme ISO14040 ne fait référence qu'aux impacts environnementaux. Cependant il est également possible d'y intégrer une approche plus sociale, notamment en revenant à la fonction initiale de l'ACV qui visait à calculer des coûts financiers, et en l'orientant vers le calcul du coût pour les usagers. Helena Gervasio et Luis Simoes da Silva proposent par exemple une méthodologie pour estimer les coûts supportés par les usagers dans le cadre du cycle de vie d'un pont, en incluant les coûts liés aux accidents de la route, le coût d'exploitation des véhicules et le coût du retard des conducteurs (Gervasio & da Silva, 2013). Dans sa thèse publiée en 2010, Helena Gervasio intègre également le concept de nuisances sonores et d'esthétisme (Figure 17) (Gervasio, 2010).

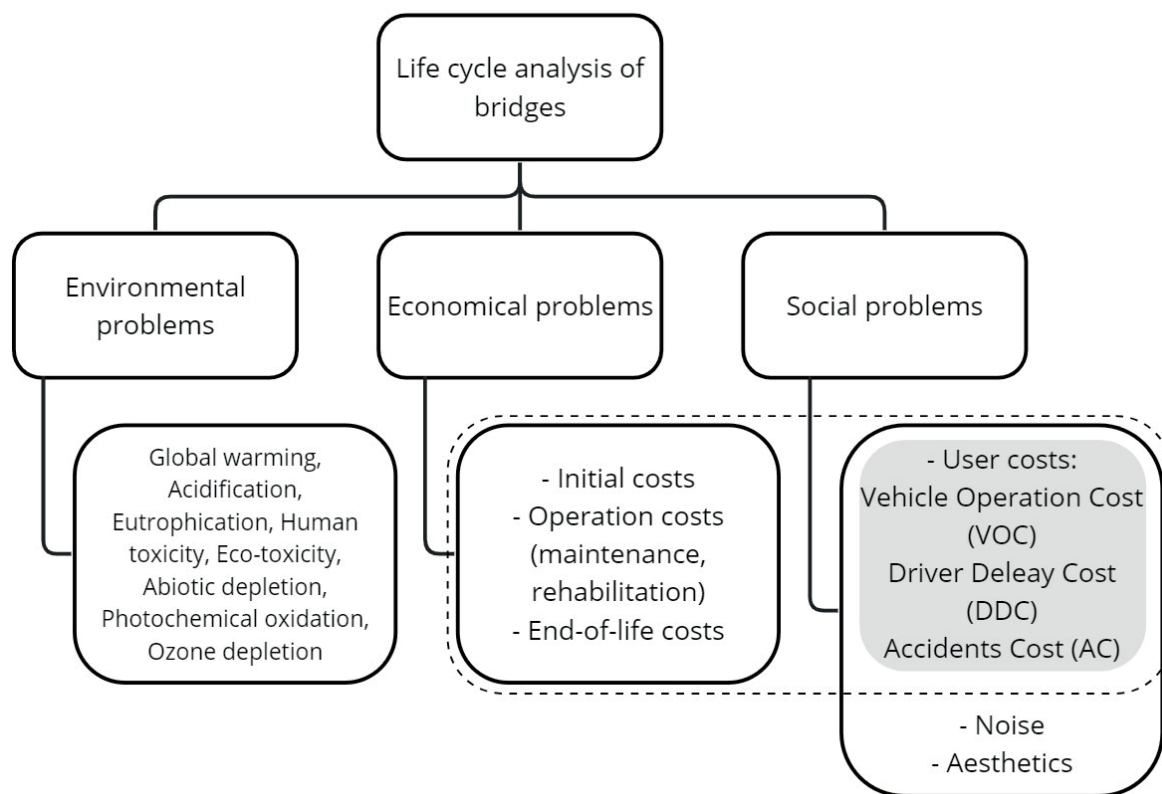


Figure 17 - Analyse intégrale du cycle de vie des ponts (Gervasio, 2010)

Il existe également une approche tenant compte du cycle de vie social des projets, nommée Social Life Cycle Assessment (SLCA). Cette approche vise à intégrer les aspects sociaux dans les études de cycle de vie, en évaluant les conditions sociales des acteurs de la chaîne de production, d'utilisation et d'élimination des matériaux (Benoit Norris et al., 2020). Utiliser ce genre de démarche permet de tenir compte du respect des valeurs éthiques tout au long du cycle de vie du produit, en intégrant les impacts sociaux dans les ACV traditionnelles. Ces impacts sont regroupés en différentes catégories, telles que, entre autres, la pauvreté, la violation des droits des travailleurs, la corruption, l'accès aux soins de santé ou l'appropriation des ressources appartenant aux autochtones (Weidema, 2006), mais aussi le travail des enfants, un salaire décent, ou le travail forcé (Benoit Norris et al., 2007). La responsabilité des entreprises est souvent pointée du doigt, pour le rôle qu'elles tiennent dans les processus de décision liés à la condition des travailleurs (Dreyer et al., 2006). D'un point de vue méthodologique, l'une des principales difficultés rencontrées dans les démarches de SLCA est que ces dernières tiennent compte d'indicateurs qualitatifs, qui rendent le processus d'évaluation particulièrement complexe (Petti et al., 2018).

## 2.1.4 Synthèse

Le concept des limites planétaires permet de comprendre à quel point la problématique de la durabilité est complexe et urgente. Sur neuf limites, six sont déjà franchies en 2023 (Richardson et al., 2023). De plus, on sait que le secteur de la construction porte une grosse part de responsabilité dans l’empreinte carbone des citoyens (Janin & Blivet, 2020). Il est donc primordial de porter un intérêt au concept d’architecture durable, afin de diminuer au maximum l’impact des bâtiments sur leur environnement à la fois écologique et social.

Pour proposer une ligne de conduite à adopter à échelle mondiale afin de faire face à cette problématique, les Nations Unies ont mis sur pied en 2015 les Objectifs de Développement Durable, dont l’un concerne les Villes et Communautés durables. Parmi ces ODD, certains sont centrés sur des thématiques liées à des aspects écologiques et économiques, tels que l’énergie ou l’innovation, et d’autres sont spécifiquement tournés vers une approche sociale, comme la santé et le bien-être (United Nations, 2015). Il s’agit donc d’une approche qui se veut globale et qui s’inscrit dans une logique de développement durable.

Dans la littérature, plusieurs auteurs ont proposé leur définition de l’architecture durable. On remarque cependant qu’il n’existe pas de définition officielle et communément admise par la communauté des architectes, ce qui est probablement lié au caractère ouvert de la définition de la durabilité proposée dans le rapport Brundtland (Brundtland, 1987), qui avait pour objectif de faciliter l’appropriation du concept par tous. Malgré tout, on distingue entre ces différentes définitions que les thématiques de l’énergie et des matériaux sont des points communs récurrents pour aborder le volet écologique, alors que l’aspect social est traité de manière beaucoup plus hétérogène, chaque auteur proposant une manière nuancée de l’aborder. Les thèmes repris dans les approches proposées dans cette section sont ceux de l’acceptabilité sociale, la culture, le confort, la communauté, la santé ou encore le bien-être.

A l’échelle de la France et de la Belgique, plusieurs stratégies sont mises en place pour proposer des solutions aux concepteurs dans la gestion de la durabilité de leur projet. Le thème de l’énergie y occupe une place particulière, en particulier en ce qui concerne la performance de consommation des bâtiments. Différents outils d’évaluations à valeur réglementaire sont proposés : en Belgique les concepteurs utilisent la PEB et le QZen, en France la RE2020 et les BEPOS ou les BBC. Une autre stratégie consiste en la réalisation d’ACV, permettant de prendre en compte les énergies consommées et la production de carbone pour chaque étape du projet. Bien que la norme ISO14040 qui régit le concept d’ACV ne mentionne que les aspects environnementaux (Comité technique ISO/TC 207, 2006), il est possible d’appliquer le concept d’ACV à des faits sociaux, par exemple en l’utilisant pour calculer le coût d’un ouvrage répercuté sur les usagers (Gervasio, 2010).

Malgré tout, on remarque que l’aspect social est peu unifié dans les définitions, au contraire de l’aspect environnemental qui semble rassembler autour de l’énergie et des matériaux. De plus, s’il existe des labels tournés vers les aspects santé et bien-être comme la certification WELL, les outils plus répandus sont cependant axés principalement sur le carbone, les matériaux et l’énergie, en particulier ceux qui sont développés par les états et qui ont vocation à réglementer les constructions.

## 2.2 Définition de la durabilité sociale dans un contexte d'architecture durable

Nous avons constaté dans les sections précédentes que la première définition du développement durable positionne à égalité trois piliers, qui doivent guider les personnes qui s'attellent à la durabilité de leurs projets : le pilier écologique, le pilier économique et le pilier social. Cependant, de nombreux auteurs s'accordent pour dire qu'il existe un déséquilibre entre les trois piliers (social, économique et écologique) de la durabilité, et que ce sont les piliers écologiques et économiques qui sont traités en priorité, en particulier dans le secteur urbain et architectural (Colantonio, 2009; Lami & Mecca, 2020; Parra & Moulaert, 2011; Weingaertner & Moberg, 2014).

Ce phénomène peut s'expliquer par le caractère abstrait de la durabilité sociale, qui lui donne une dimension d'incomplétude et rend difficile sa traduction en critères tangibles et opérationnalisables (Parra & Moulaert, 2011). Ce contraste entre abstraction et nécessité d'éléments concrets tend à minimiser la prise en compte de la durabilité sociale dans les processus de décision.

On constate également que si la dimension sociale est souvent traitée de manière secondaire, réduite à l'évocation du traitement des inégalités et de la pauvreté ou à l'accès aux soins, à la culture et à l'éducation (Sébastien & Brodhag, 2004), elle était pourtant au cœur des enjeux de la durabilité à l'origine de la définition qu'en faisait le rapport Brundtland :

*« Au sens le plus large, le développement soutenable vise à favoriser un état d'harmonie entre les êtres humains et entre l'homme et la nature » (Brundtland, 1987, p. 55)*

Ce constat peut également être fait dans le milieu de la construction, où le pilier de la durabilité sociale est plus souvent mis de côté que les piliers écologiques et économiques. En effet la plupart du temps, la durabilité sociale y est étudiée par le prisme des piliers économiques et écologiques, en partant du principe que si ces deux derniers sont qualitatifs, cela améliorera la qualité de vie des usagers (Soltani, 2016), ce qui est jugé suffisant pour résoudre, ou du moins améliorer, la question du pilier social. En réalité, déterminer ce à quoi correspond le pilier social est une chose complexe, qui ne peut se satisfaire d'être traduite à travers une vision écologique ou économique. En effet, certains éléments appartenant au pilier social n'ont aucun lien avec le pilier économique ou écologique.

Pour différencier les points étudiés à travers les piliers économiques et écologiques des points étudiés uniquement du point de vue du pilier social, Sahar Soltani parle de « *caractéristiques dépendantes* » et de « *caractéristiques indépendantes* ». Les caractéristiques dépendantes traitent de sujets en lien avec la question sociale, mais également en lien direct avec le pilier économique ou écologique. Il s'agit de caractéristiques mesurables et quantifiables, telles que la performance énergétique et la luminosité. Issues des deux autres piliers, ces caractéristiques impactent la durabilité sociale de manière secondaire et indirecte. A contrario, les caractéristiques indépendantes sont désolidarisées des autres piliers. Ces dernières ont plus tendance à être d'ordre qualitatif et sont centrées sur l'aspect social de manière directe (Figure 18) (André et al., 2022). Sahar Soltani illustre ce deuxième type de caractéristiques par le transfert de connaissance, l'amélioration de l'environnement vécu ou la restauration des quartiers.



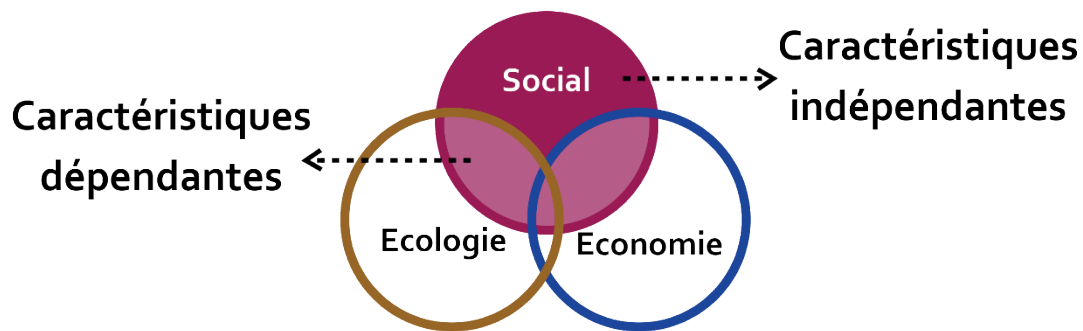


Figure 18 - Caractéristiques dépendantes et indépendantes de la durabilité sociale (André et al., 2022)

Bien qu'il soit plus aisé de s'intéresser aux caractéristiques dépendantes grâce à leur capacité à être quantifiables, les aspects plus intangibles de la durabilité sociale doivent également être pris en compte car ils occupent une place significative dans les projets et les infrastructures (Gervásio & da Silva, 2013).

Andrea Colantonio quant à lui fait référence à la « *hard social sustainability* », qui regroupe les thématiques qui ont été plus souvent abordées par le passé, à la fois dans la littérature et dans les prises de décisions, parce que mesurables et quantifiables comme c'est le cas pour l'emploi ou la réduction de la pauvreté. Ce concept aurait progressivement été complété au cours du temps par la « *soft social sustainability* », qui correspond aux critères moins facilement mesurables tels que le bonheur, la mixité sociale ou le sentiment d'appartenance au lieu. Selon lui, cette dualité participe à la complexité que représente l'analyse et l'évaluation de la durabilité sociale (Colantonio, 2009).

En conclusion, ces deux approches qui articulent la *hard* et *soft social sustainability*, ou encore les caractéristiques tangibles ou intangibles, permettent de caractériser la forme abstraite de la durabilité sociale. On ne peut parler de durabilité sociale sans aborder ces aspects plus sociologiques, parfois même philosophiques. Cependant, nous avons vu dans la première partie que les pratiques BIM sont efficaces principalement pour traiter des sujets qui peuvent être traduits en données numériques. Nous avons également vu que les pratiques BIM tendent à s'intensifier et à être de plus en plus encouragées dans les décisions politiques locales. C'est pourquoi nous souhaitons explorer la place de la durabilité sociale dans les pratiques BIM.

Avant de confronter la thématique du BIM avec celle de la durabilité sociale, nous allons dans la section suivante définir ce à quoi correspond la durabilité sociale à l'échelle globale, ainsi que dans un contexte architectural et urbain. Ce chapitre a pour objectif d'aborder la durabilité sociale à travers différents auteurs, dont les définitions se complètent, afin de construire notre propre définition de la durabilité sociale adaptée au contexte de l'architecture.

### 2.2.1 Principes de la durabilité sociale

Comme nous le mentionnions dans les sections précédentes, il n'y a pas de définition communément admise de la durabilité sociale. Plusieurs auteurs proposent leur définition de ce concept, en utilisant des approches et des points de vue diversifiés. Suzanne Vallance et al. évoquent même une forme de chaos conceptuel autour de la durabilité sociale, au point que cela déforçerait la pertinence de cette dernière :

*« We are also concerned that the many and varied contributions of social scientists have led to a degree of conceptual chaos and that this compromises the term's utility. Some work conducted under the rubric of social sustainability is clearly focussed on meeting basic needs and addressing 'underdevelopment', whilst others are equally concerned about changing the deleterious behaviour of the world's affluent and the promotion of stronger environmental ethics. » (Vallance et al., 2011, p. 342)*

Ces différentes approches auxquelles Suzanne Vallance et al. font référence sont nombreuses, nous ne pouvons donc pas prétendre à en faire le récit complet dans ce chapitre. Cependant, nous avons mis en évidence dans les paragraphes suivants celles qui nous semblaient les plus pertinentes dans le contexte de ce travail.

Tout d'abord, si la durabilité sociale fait partie de la colonne vertébrale du développement durable, c'est parce qu'à l'origine elle était abordée comme étant partie intégrante d'une forme de développement de la société. Mario Polese et Richard Stren abordent la durabilité sociale comme suit :

*« Development that is compatible with harmonious evolution of civil society, fostering an environment conducive to the compatible cohabitation of culturally and socially diverse groups while at the same time encouraging social integration, with improvements in the quality of life for all segments of the population » (Polese & Stren, 2000, p. 229)*

On observe dans cette définition la volonté de promouvoir le développement, sans heurter la bonne mise en place des trois piliers de la durabilité. De plus Mario Polese et Richard Stren proposent également de promouvoir ces valeurs à travers l'opportunité du développement. L'objectif premier est donc le développement, pendant que l'aspect social est vu comme une chose qui doit être d'une part préservée, et d'autre part améliorée.

Trois axes ressortent de cette définition. Le premier est que la durabilité sociale induit une évolution de la société qui soit harmonieuse. Le deuxième point concerne la cohabitation de populations possédant une culture et une classe sociale diversifiées, mais au sein de laquelle chaque être humain est intégré de manière égalitaire. Enfin, le troisième point précise que la durabilité sociale confère une amélioration de la qualité de vie à toutes les catégories de population. Les trois piliers de cette approche sont donc l'évolution harmonieuse de la société, la mixité sociale et la qualité de vie sans distinction de classe. Cette définition se centre principalement sur le concept d'équité sociale. Nicola Dempsey et al. distinguent deux aspects dans la durabilité sociale urbaine : l'équité sociale, comme le mentionnent également Mario Polese et Richard Stren bien qu'ils ne l'identifient pas comme telle, et la durabilité de la communauté.

Le concept d'équité sociale, dans un contexte de durabilité sociale urbaine, fait référence à l'inclusion sociale et environnementale, en se concentrant sur toute forme de discrimination, tant à l'échelle globale (le pays) que locale (la ville ou le quartier) :

*« An equitable society is one in which there are no 'exclusionary' or discriminatory practices hindering individuals from participating economically, socially and politically in society » (Dempsey et al., 2009, p. 5)*

L'accessibilité aux services et aux équipements publics est l'outil de mesure fréquemment utilisé pour évaluer la qualité de l'équité sociale : l'accès à une éducation de qualité, à un logement

décent, aux services publics, aux infrastructures sociales, aux espaces verts, à la culture et aux loisirs. Quant à la durabilité de la communauté, elle fait appel à la notion de cohésion sociale et à l'inclusion des communautés actuelles et futures. Le fait de tenir compte du futur autant que du présent, voire de prendre soin du présent pour préserver le futur, est directement inspiré de la définition du développement durable. La durabilité des communautés se manifeste à travers les concepts de « capital social » et « cohésion sociale ». Les aspects utilisés pour évaluer la durabilité de la communauté sont les interactions sociales, la participation à des réseaux collectifs issus de la communauté, la stabilité de la communauté, la fierté et le sentiment d'appartenance ainsi que la sûreté et la sécurité (Dempsey et al., 2009).

Ces thématiques sont sujets à une interprétation étroitement liée au contexte, ce qui rend leur classification et leur concrétisation en indicateurs particulièrement complexes. De plus, une question traverse ces définitions : à qui revient la responsabilité de traiter ces questions ? En effet, il est considéré que c'est le secteur public et les autorités locales qui ont pour rôle d'apporter une qualité de vie satisfaisante à la population, mais la complexité des systèmes de gouvernance incite à reporter les responsabilités sur d'autres. Ce qui est amplifié par le fait qu'il n'y a pas d'acteur désigné pour la question sociale considérée de manière globale. En conséquence, il est attendu que les questions sociales soient déjà traitées au plus haut niveau politique, ce qui peut déforcer l'attention qui leur est apportée au niveau local (Weingaertner & Moberg, 2014).

L'influence des facteurs politiques, culturels et géographiques rend par conséquent très complexe l'élaboration d'une définition claire et unanime pour la durabilité sociale. Elle est souvent plutôt approchée par des listes de critères, qui peuvent varier d'un auteur à l'autre selon l'approche disciplinaire choisie. Cependant l'ensemble de ces critères tendent vers l'objectif d'améliorer la qualité de vie de manière générale, à toutes les échelles et de manière durable dans le temps. Les mots-clés qui guident cet objectif sont le bien-être, l'accessibilité, les relations humaines, l'équité et la participation.

Suzanne Vallance et al. considèrent que cette approche est limitante et témoigne peu de la complexité réelle du concept de durabilité sociale, complexité qui implique que certains éléments ne puissent pas être conciliés en même temps, puisqu'ils tentent d'atteindre des objectifs différents pouvant parfois s'opposer. Pour exprimer cette complexité ils proposent trois volets de la durabilité sociale (Figure 19) (Vallance et al., 2011).

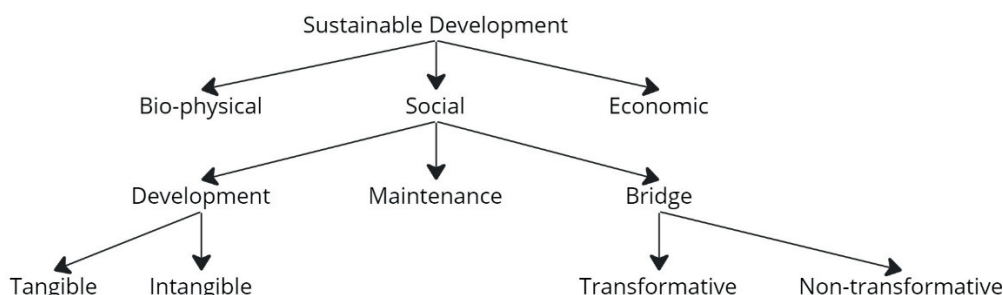


Figure 19 - Les trois volets de la durabilité sociale (Vallance et al., 2011)

Le premier est le « *development sustainability* », et correspond aux éléments apportés dans les paragraphes précédents : la satisfaction des besoins, le capital social, la justice, l'équité, etc. Dans ce volet, ils distinguent les éléments tangibles, tels que l'accès à l'eau potable et à la nourriture saine, et les éléments intangibles, tels que l'éducation, l'emploi, la justice et l'équité. Cette répartition

en éléments tangibles et intangibles permet de compléter la répartition proposée par Soltani en caractéristiques dépendantes et indépendantes.

Le deuxième volet est celui du « *bridge sustainability* ». Il représente les changements de comportement qui doivent être opérés pour atteindre les objectifs environnementaux bio-physiques. Ce volet se centre sur la manière dont les personnes doivent être sollicitées et éduquées pour apporter une réponse collective et individuelle aux enjeux générés par les changements climatiques en cours.

Enfin, le troisième volet est celui de la « *maintenance sustainability* », qui est le volet faisant référence à la préservation des habitudes socio-culturelle dans un contexte de changement, ainsi que l'accueil de la population envers ces changements. Ce volet fait écho au volet du « *bridge sustainability* », qui doit nécessairement engendrer des modifications dans les comportements des personnes, modifications qui peuvent être plus ou moins bien acceptées par la majorité. Les deux comportements typiques possibles sont l'adoption ou la résistance.

Cette approche en trois parties permet d'intégrer le facteur humain lié aux niveaux d'acceptation du changement et aux adaptations des habitudes ancrées, qui sont tous les deux nécessaires à une prise en compte globale de la durabilité. Saffron Woodcraft fait lui aussi référence au capital social, au bien-être et à la qualité de vie dans le quartier. Il met également l'accent sur la compréhension des besoins des personnes, adaptés à l'espace dans lequel elles vivent.

*« Social sustainability is a process for creating sustainable, successful places that promote wellbeing, by understanding what people need from the places in which they live and work. Social sustainability combines design of the physical realm with design of the social world – infrastructure to support social and cultural life, social amenities, systems for citizen engagement and space for people and places to evolve. » (Woodcraft, 2015, p. 3)*

Cette relation à l'espace vécu et aux besoins des usagers implique la nécessité d'une étude de la situation locale, en partenariat avec les habitants. Saffron Woodcraft fait de plus référence à la co-construction d'une réalité physique au service du monde social. Cela peut se manifester par des infrastructures accessibles à toutes les personnes y compris les personnes à mobilité réduite, qui génèrent du lien entre les personnes à travers l'aménagement d'espaces de rencontres, qui proposent des lieux avec des éléments végétaux favorisant le bien-être des personnes, etc...

Bien que ces définitions proposent des approches différentes et tiennent compte de mots-clés et de critères variés, un point commun les relie : la nécessité de situer la durabilité sociale dans le contexte du lieu étudié, de manière adaptée aux personnes qui fréquentent ce lieu. Il semble que cette notion de contexte fasse partie de la colonne vertébrale des définitions de la durabilité sociale. Une autre notion qui revient très régulièrement est celle du capital social.

Cette approche multidimensionnelle peut être considérée comme un élément positif. C'est ce qu'affirment Reza Shirazi et Ramin Keivani dans une étude publiée en 2017, dans laquelle ils confirment que la durabilité sociale est un processus plus qu'un objectif à atteindre. Selon eux, ces approches multiples ne peuvent pas être évitées dans le cas de la durabilité sociale. Elles sont même très positives, dans le sens où elles permettent à chacun de s'approprier et d'appliquer le concept de la manière qui lui semble la plus adaptée en fonction de ses besoins. Cela constitue un atout compte tenu du fait que la relation au contexte est considérée comme primordiale dans la plupart des définitions de la durabilité sociale.

« (...)instead of providing a fixed definition and a solid framework applicable to all cases, scales, and contexts, it hints at some general values, essential relevant concepts, and basic characteristics which should be adapted and re-formulated to fit the given context. » (Shirazi & Keivani, 2017, p. 11)

Leur étude met également en évidence, après avoir comparé plusieurs définitions de la durabilité sociale publiées entre 1993 et 2016, que sept thèmes sont généralement associés au concept de durabilité sociale. Ces derniers, par ordre d'importance au regard de leur fréquence d'apparition dans les définitions, sont : l'équité, la démocratie, la participation et la société civile, la mixité et l'inclusion sociale, les réseaux sociaux et les interactions, les moyens de subsistance et le sentiment d'appartenance, la sûreté et la sécurité, et enfin le bien-être humain et la qualité de vie (Figure 20) (Shirazi & Keivani, 2017).

Principles	Key aspects
Equity	- Quality of life for all segments of the population/ fairness in distribution of opportunity/ adequate provision of social services/gender equity/socially justice/equity of access to key services/equity between generations/ equal learning opportunities/ equality in employment, education, health, etc./proportionate social infrastructure/environmental equality of rights
Democracy, participation, and civic society	- Effective appropriation of all human rights – political, civil, economic, social and cultural – by all people/ harmonious civil society/political accountability and participation/freedom and solidarity/émancipation/widespread political participation of citizens/a sense of community responsibility/empowered community/political advocacy/democratic civil society/people-oriented governance/community empowerment
Social Inclusion and Mix	- Lack of spatial segregation/cohabitation of culturally and socially diverse groups/social integration/ cultural diversity/ effective cultural relations and protection of cultural values
Social Networking and Interaction	- Viability of human interaction, communication, and cultural development/ social cohesion
Livelihood and Sense of Place	- Vitality/solidarity and common sense of place among citizens/a decent quality of life or livelihood for all the people
Safety and Security	- Lack of violent intergroup conflict/chronic political stability
Human well-being and quality of life	- Human dignity/happiness/health/individual and collective well-being

Figure 20 - La durabilité sociale : principes et mots-clés (Shirazi & Keivani, 2017)

Il est donc nécessaire d'aborder la durabilité sociale comme un concept complexe, en constante évolution, et profondément influencé par le contexte du lieu étudié. Des thématiques peuvent servir de guides pour appréhender la durabilité sociale, cependant ces thématiques ne peuvent et ne doivent pas être considérées comme exhaustives (Tableau 7).

Auteur	Date	Mots-clés
Polese & Stren	2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Développement harmonieux de la société</li> <li>- Mixité sociale</li> <li>- Amélioration de la qualité de vie pour toutes les tranches de la population</li> </ul>
Dempsey et al.	2009	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equité sociale <ul style="list-style-type: none"> <li>- Accessibilité</li> <li>- Inclusion</li> </ul> </li> <li>- Durabilité de la communauté <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interactions sociales</li> <li>- Participation</li> <li>- Stabilité</li> <li>- Fierté et sentiment d'appartenance</li> <li>- Sureté/sécurité</li> </ul> </li> <li>- Inclusion des communautés actuelles et futures</li> </ul>
Vallance et al.	2011	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Développement social <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tangible</li> <li>- Intangible</li> </ul> </li> <li>- Préservation des habitudes socio-culturelles</li> <li>- Evolution des comportements</li> </ul>
Woodcraft	2015	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capital social</li> <li>- Bien-être et qualité de vie</li> <li>- Compréhension des besoins</li> </ul>
Shirazi & Keivani	2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equité</li> <li>- Démocratie et participation</li> <li>- Inclusion sociale et mixité</li> <li>- Réseaux sociaux et interactions</li> <li>- Moyens de subsistance et sentiment d'appartenance</li> <li>- Sureté</li> <li>- Sécurité</li> <li>- Bien-être et qualité de vie</li> </ul>

Tableau 7 - Concepts relatifs à la durabilité sociale

## 2.2.2 Relations entre la ville et la durabilité sociale

Lorsqu'on aborde la durabilité sociale, des liens sont régulièrement faits dans la littérature avec les approches urbaines. En effet, les villes sont des associations d'êtres humains, vivants en communauté autour d'un ensemble de règles permettant à chacun de vivre dans une relative liberté, tant qu'il n'empiète pas sur la liberté de ses voisins. Ainsi, il est par exemple souvent interdit de réaliser un barbecue sur un balcon afin que la fumée n'incommoder pas les locataires des logements adjacents. Les villes correspondent à des zones où la concentration de logements, et donc de personnes, est très élevée, ce qui en fait un lieu important d'interactions sociales. Ash Amin évoque à ce sujet le concept de « *being-togetherness* », et les obstacles qui peuvent en découler :

*« Urbanism highlights the challenges of negotiating class, gender and ethnic or racial differences placed in close proximity, with the spatiality of the city playing a distinctive role in the negotiation of multiplicity and difference. » (Amin, 2006, p. 1012)*

La difficulté de donner une définition claire de la durabilité sociale a amené la communauté scientifique à tenter d'approcher ce concept par l'élaboration de critères. Plusieurs auteurs, auxquels nous faisons référence ci-dessous, ont donc travaillé sur l'expression de la durabilité sociale sous forme de critères, avec différentes approches. Les critères varient selon l'acteur dont on choisit d'étudier le point de vue.

A l'échelle de la ville, Weingaertner et Moberg identifient 17 points liés au contexte urbain (Tableau 8). Ces points sont identifiés sans tentative de classement ou d'hierarchisation les uns par rapport aux autres (Weingaertner & Moberg, 2014),.

Accessibilité (par exemple, accès à l'emploi, aux espaces ouverts, aux services locaux, aux ressources)	Connectivité et mouvement (par exemple, convivialité pour les piétons, bonnes liaisons de transport)
Capital social et réseaux	Logement et stabilité de la communauté
Santé et bien-être	Égalité des chances et équité
Cohésion sociale et inclusion (entre et parmi les différents groupes)	Justice sociale (intergénérationnelle et intragénérationnelle)
Sûreté et sécurité (réelle et perçue)	Sentiment de lieu et d'appartenance
Répartition équitable des revenus et de l'emploi	Mixité des usages et des modes d'occupation
Démocratie locale, participation et autonomisation (consultation des communautés)	Domaine public attrayant
Patrimoine culturel (par exemple, patrimoine local et bâtiments classés)	Qualité de l'environnement local et équipements
L'éducation et la formation	

Tableau 8 - Les aspects de la durabilité sociale dans un contexte urbain (Weingaertner & Moberg, 2014), traduction par l'auteur

Les auteurs précisent que certains de ces critères ont déjà été abordés dès le XIX<sup>ème</sup> siècle à travers les concepts des cités jardins et des logements sociaux, mais qu'il est reconnu aujourd'hui que les enjeux sociaux dans les milieux urbains ne peuvent pas être traités de manière isolée, en plus du fait qu'ils doivent être remis en contexte de manière locale (Weingaertner & Moberg, 2014).

Parmi ces critères, on observe que certains d'entre eux sont directement en lien avec l'aménagement de l'environnement, tels que la sûreté et sécurité, la connectivité et mouvement, la mixité des usages et modes d'occupation, le domaine public attrayant et la qualité de l'environnement local et équipements. Ces critères peuvent être améliorés par la création de règles reproductibles dans des situations variées. Par exemple, il est possible d'étudier par enquêtes le sentiment de sécurité en fonction du type d'éclairage, ainsi qu'étudier la proportion de crimes réalisés dans des lieux recevant des intensités variables d'éclairage. Différentes études pourront conduire à l'élaboration d'un pourcentage de luminosité nécessaire à améliorer la sécurité réelle et perçue d'un lieu. Ce type de critère est rationalisable et est souvent une caractéristique dépendante.

D'autres sont plutôt dépendants des politiques et formes d'organisation choisies par la ville, tels que l'accessibilité, la santé, la répartition équitable des revenus et de l'emploi, la démocratie locale, le patrimoine culturel, l'éducation et la formation, la justice sociale et l'égalité des chances. Ces critères sont fortement dépendants du contexte local, qu'il soit géographique ou politique. Il est donc difficile dans leur cas de se référer à une réglementation objective, exprimable en pourcentage

ou sous forme de quota. Un ensemble de recommandations indiquant une tendance à suivre sera plus adéquate à appliquer pour la gestion de ce type de critère. Par exemple, promouvoir l'accessibilité à travers le développement de transports en commun peut être une recommandation qui s'exprimera différemment selon le contexte local : l'augmentation de la fréquence des passages et la réorganisation des passages selon les besoins de la population locale, ou le choix du type de transport à favoriser selon les possibilités topographiques.

*« The measurement of sustainability does not necessarily seek a result but rather a process that must promote the social learning of those involved. Cyclical assessment processes are advisable so that the proposed mechanisms orient society towards better decisions .» (Sierra et al., 2018, p. 508)*

Enfin certains critères sont directement influencés par le facteur humain, tels que le bien-être, le capital social et le sentiment d'appartenance. Ces critères sont difficiles à mesurer de manière objective, puisqu'ils sont liés au ressenti subjectif des personnes, en plus d'être profondément ancrés dans le contexte culturel et politique du projet. Ces critères, subjectifs et plus difficilement mesurables, sont souvent des caractéristiques indépendantes.

De leur côté, Nicola Dempsey et al. proposent une répartition des critères portée sur leur caractère physique. Dans leur proposition, on retrouve beaucoup plus de facteurs non-physiques que de facteurs physiques : 8 physiques pour 20 non physiques (Tableau 9) (Dempsey et al., 2009).

Non-physical factors	Predominantly physical factors
- Education	- Urbanity
- Social justice : inter- and intra-generational	- Attractive public realm
- Participation and local democracy	- Decent housing
- Health, quality of life and well-being	- Local environmental quality and amenity
- Social inclusion (and eradication of social exclusion)	- Accessibility (e.g. to local services and facilities/employment/green space)
- Social capital	- Sustainable urban design
- Community	- Neighbourhood
- Safety	- Walkable neighbourhood : pedestrian friendly
- Mixed tenure	
- Fair distribution of income	
- Social order	
- Social cohesion	
- Community cohesion (i.e. cohesion between and among different groups)	
- Social networks	
- Social interaction	
- Sense of community and belonging	
- Employment	
- Residential stability (vs turnover)	
- Active community organizations	
- Cultural traditions	

*Tableau 9 - Facteurs contribuant à la durabilité sociale urbaine (Dempsey et al., 2009)*

La notion de qualité de vie est souvent abordée dans les définitions. Saffron Woodcraft affirme que cette notion doit être prise en considération, à la fois à l'échelle de l'individu et à l'échelle du voisinage, en intégrant le caractère parfois désordonné qu'engendre la cohabitation de personnes aux origines sociales différentes, ayant chacune ses propres aspirations et des besoins qui lui sont spécifiques :



*« This means taking account of the messy reality of urban social life – the needs and aspirations of different neighbourhoods, some wealthy, some less so; the needs of old and young people, families and people working in the city in all kinds of occupations; and the multitude of different factors it takes to survive and flourish in the city – access to jobs, good quality housing, safe and integrated neighbourhoods, educational opportunities, affordable healthcare, having family, friends and support networks, the chance to take part in the social and cultural life of the city, ways to participate in political decision making and voice concerns. » (Woodcraft, 2015, p. 4)*

Feriha Dogu et Lerzan Aras proposent un modèle pour mesurer les aspects sociaux des villes, appelé Measurement of the City from Social Aspects (MCSA). Grâce à leur étude, ils mettent en évidence qu'à travers toutes les propositions de critères à utiliser pour mesurer la durabilité sociale, un élément primordial et pourtant manquant est celui de l'échelle : les approches peuvent largement varier selon qu'elles soient abordées à l'échelle d'un pays ou d'une communauté. Leur étude conclut que sept critères permettent de mesurer la durabilité sociale d'une ville : le sentiment d'appartenance, le capital social, l'environnement perçu, les interactions sociales et la sécurité, la qualité des espaces, la satisfaction dans l'espace, et l'influence sociale (Figure 21) (Doğu & Aras, 2019).

Dans cette proposition, chacun des critères est interconnecté aux autres critères, et est subdivisé en usages. Ces usages ont été proposés à un panel d'habitants de la ville de Güzelyurt, en Turquie, après avoir été traduits en affirmations par rapport auxquelles les personnes interrogées devaient se situer sur une échelle de 1 à 5. Les auteurs estiment que les analyses qu'ils ont réalisées démontrent que ce modèle fonctionne, et est reproductible dans d'autres villes.

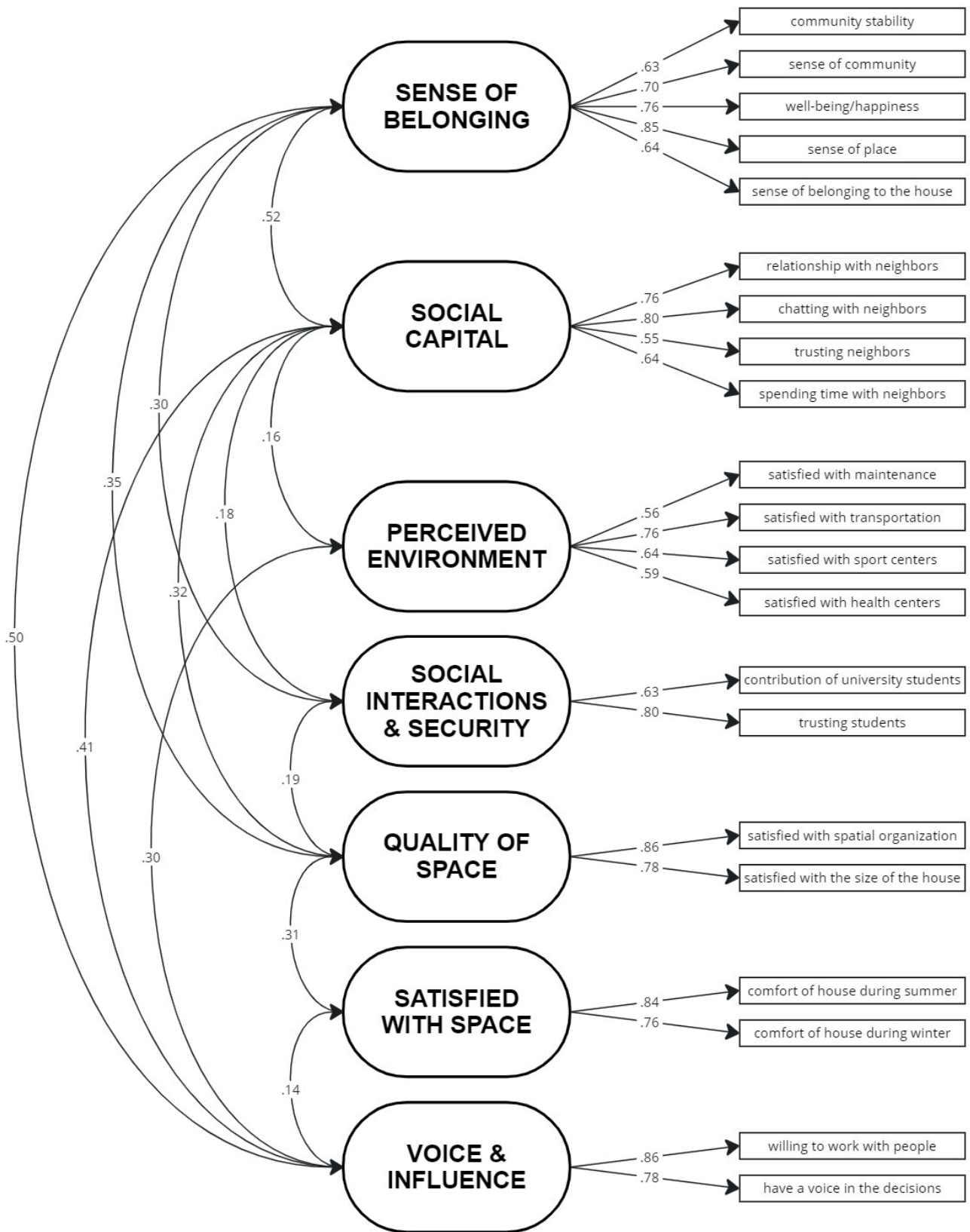


Figure 21 - Structure analytique du modèle MCSA (Doğu & Aras, 2019)

En 2013, le groupe de promotion immobilière Berkeley organise une étude sur un panel d'usagers d'un site. Le questionnaire initial comporte 45 questions, qui ont permis d'identifier 13 indicateurs dont le but est d'évaluer la qualité sociale du quartier (Figure 22) (Berkeley Group, 2013).

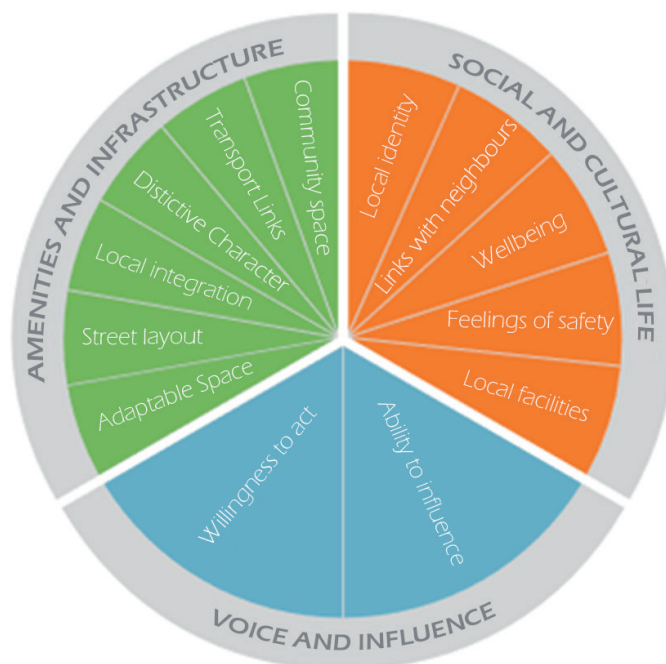


Figure 22 - Indicateurs de mesure de la durabilité sociale d'un quartier (Berkeley Group, 2013)

Ces indicateurs sont répartis en trois catégories : la vie culturelle et sociale, la voix et l'influence et les aménagements et infrastructures. Réaliser un classement des caractéristiques que proposent les différentes approches présentées ci-dessus selon leur caractère tangible et leur dépendance à un autre pilier de la durabilité ne semble pas pertinent. En effet, une seule caractéristique peut se décliner en plusieurs approches concrètes, et chacune d'entre elles peut se trouver à plusieurs endroits du tableau. Par exemple, le critère de l'accessibilité peut être considéré comme à la fois dépendant du pilier économique, du pilier écologique, ou même indépendant, selon l'aspect spécifique de ce critère auquel on choisit de s'intéresser (Tableau 10).

ETUDE DE L'ACCESSIBILITÉ	DÉPENDANCE AU PILIER ÉCONOMIQUE	DÉPENDANCE AU PILIER ÉCOLOGIQUE	CARACTÉRISTIQUES INDÉPENDANTES
<b>TANGIBLES</b>	+ Accès à l'achat d'un véhicule personnel	+ Proximité des transports en commun + Liaison en pistes cyclables des lieux fréquentés	
<b>INTANGIBLES</b>	+ Accès à un emploi proche du lieu de vie		+ Capacité physique à se déplacer en vélo + Capacité à se repérer dans l'espace + Sentiment de légitimité à fréquenter un lieu

Tableau 10 - Classement de certains aspects du critère « accessibilité » selon leur caractère dépendant, indépendant, tangible ou intangible

La complexité de cette approche ne permet pas d'attribuer une valeur d'importance aux différents critères liés à la durabilité sociale. Cependant, il est nécessaire de garder à l'esprit les différentes qualités auxquelles ils peuvent être associés : tangible ou intangible, dépendante ou indépendante. En effet, les critères tangibles, dépendants du pilier économique ou dépendants du pilier écologique seront plus aisés à traduire en variables mesurables que les critères intangibles ou indépendants.

### **2.2.3 Critères de durabilité sociale dans la pratique de l'architecture**

Dans notre recherche, nous nous intéressons aux interactions entre le BIM et la durabilité sociale. Les principes du BIM peuvent être appliqués à l'échelle de la ville, il est alors appelé City Information Modeling (CIM). Cependant nous choisissons d'orienter notre recherche à l'échelle du bâtiment pour observer la prise en compte de la durabilité sociale dans les démarches des concepteurs de bâtiments. Pour comprendre quels critères sont pertinents à prendre en compte à cette échelle, nous nous éloignons de l'approche urbanistique et nous nous intéressons dans cette section aux auteurs qui ont centré leurs approches sur la durabilité sociale dans l'architecture.

Judith Heerwagen se concentre sur le point de vue des personnes qui vivront dans l'architecture proposée, les usagers. Ses travaux visent donc à mettre en évidence les critères de bien-être des usagers du bâtiment. Elle évoque les liens que l'architecture peut offrir aux usagers avec la nature et les processus naturels, la qualité des déplacements physiques dans le bâtiment, les possibilités de variations sensorielles vécues par les usagers à travers leur utilisation du bâtiment, ainsi que le contrôle que les usagers peuvent avoir sur leur environnement, le soutien social, le sens de la communauté et les possibilités d'isolement offertes par le bâtiment. Ces besoins sont exprimés sous forme de critères (Tableau 11) (Heerwagen, 2006). Certains d'entre eux sont mesurables à l'aide de données chiffrées, par exemple le pourcentage d'ensoleillement ou le contrôle des conditions ambiantes. Cependant la majorité des critères est liée à une perception subjective en rapport avec la sensibilité de chaque individu.

Expérience/Besoins	Caractéristiques et attributs de l'environnement
Connexion avec la nature et les processus naturels	Lumière du jour ; vues sur les espaces naturels extérieurs ; vues sur le ciel et les conditions météorologiques ; plans d'eau ; jardins ; plantations intérieures ; places extérieures ou atriums intérieurs avec lumière du jour et végétation ; matériaux et décors naturels.
Possibilité de faire de l'exercice régulièrement	Escaliers intérieurs ouverts ; sentiers de promenade extérieurs attrayants ; installations d'exercice physique internes ; étages sans ascenseurs pour encourager la montée des escaliers.
Changements sensoriels et variabilité	Lumière du jour ; fenêtres donnant sur l'extérieur ; matériaux sélectionnés en fonction de l'expérience sensorielle (toucher, changement visuel, couleur, sons et odeurs agréables) ; variabilité spatiale ; changement des niveaux d'éclairage et mise en évidence par la lumière ; niveaux modérés de complexité visuelle.
Choix du comportement et contrôle	Contrôle personnel des conditions ambiantes (lumière, ventilation, température, bruit) ; capacité de modifier et d'adapter les environnements en fonction des besoins et des préférences personnels ; paramètres comportementaux multiples pour soutenir différentes activités ; technologie pour soutenir la mobilité ; capacité de passer facilement de la solitude à l'engagement social et espaces pour soutenir les deux.
Soutien social et sens de la communauté	Multiplicité des espaces de rencontre, utilisation d'artefacts et de symboles de la culture et de l'identité du groupe ; "aimants" de rassemblement tels que la nourriture ; espaces de rencontre et d'accueil centralisés ; signes d'attention à l'environnement (entretien, jardins, personnalisation, artisanat).
La vie privée quand elle est souhaitée	Enveloppe ; matériaux de protection ; capacité à maintenir les distances souhaitées par rapport aux autres ; espaces publics pour l'anonymat.

Tableau 11 - Caractéristiques et attributs des bâtiments liés aux expériences et aux besoins de bien-être dans les bâtiments (Heerwagen, 2006), traduits par l'auteur

Une étude de Isabella Lami et Béatrice Mecca recense cinq thématiques à traiter pour réaliser un projet architectural socialement durable. La première concerne les interactions sociales et consiste en la création d'espaces favorisant les interactions sociales. La deuxième est l'identité architecturale, qui permet aux usagers de consolider leur identité sociale en se référant à la culture et à l'histoire du lieu qu'ils pratiquent. Ensuite, le sentiment de sécurité est le troisième point et est lié à la conception d'espaces sécurisants et protégés, générant un sentiment de sécurité chez les usagers. Le quatrième critère est la flexibilité des bâtiments, dans le sens où ces derniers doivent pouvoir s'adapter dans le temps aux usages et aux besoins des occupants. Et enfin, le dernier critère est celui de la participation sociale, c'est-à-dire la volonté des usagers à participer au processus de conception et à la prise de décisions liée à l'espace qu'ils occuperont ou occupent déjà. Cela implique que des espaces dédiés à la prise d'initiative des usagers doivent faire partie du programme de conception du bâtiment (Lami & Mecca, 2020). Par extension, cette participation sociale peut déjà commencer avant la construction des projets en intégrant les usagers au processus de conception des bâtiments. Leonardo Sierra, Victor Yepes et Eugenio Pellicer proposent une étude sur la durabilité sociale des infrastructures, qui fait également mention de la sécurité, mais aborde en plus de ce critère ceux de la mobilité et l'accessibilité, ainsi que du développement local. Dans leur étude, ils soutiennent que les décideurs et le reste de la société doivent interagir pour obtenir un résultat satisfaisant sur le plan social, car comme nous l'avons déjà souligné les critères sociaux sont dépendants du contexte, ils ne peuvent donc pas être abordés uniquement à travers le travail d'experts (Sierra et al., 2018).

On peut donc observer que même au sein de l'échelle du projet d'architecture, qui pourrait sembler moins diversifiée que l'échelle de la ville, la durabilité sociale reste composée de critères hétérogènes et subjectifs orientés vers le bien-être des usagers (Tableau 12). Intégrer ces derniers dans les processus de conception peut être une solution pour favoriser une meilleure prise en compte de leurs besoins. Cela se traduit par une co-conception des projets alimentée à la fois par les concepteurs et par les usagers du bâtiment, ces derniers devenant alors également concepteurs. Sans ce processus, il serait difficile d'obtenir un résultat idéal du point de vue de la durabilité sociale. De plus, la notion d'adaptabilité est primordiale car les usagers ayant participé au processus de conception peuvent choisir de quitter les lieux au bout de quelques temps, et être ensuite remplacés par d'autres usagers. Il faudra alors que le bâtiment puisse être suffisamment modulable pour convenir aux nouveaux usagers.

<b>Auteur</b>	<b>Date</b>	<b>Mots-clés</b>
Heerwagen	2006	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Connexion avec les éléments naturels</li> <li>- Incitation à l'exercice physique</li> <li>- Changements sensoriels</li> <li>- Choix du comportement et contrôle</li> <li>- Soutien social et sens de la communauté</li> <li>- Vie privée</li> </ul>
Sierra et al.	2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sécurité</li> <li>- Mobilité</li> <li>- Accessibilité</li> <li>- Développement local</li> </ul>
Lami & Meca	2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interactions sociales</li> <li>- Identité architecturale</li> <li>- Sentiment de sécurité</li> <li>- Flexibilité des bâtiments</li> <li>- Participation sociale</li> </ul>

Tableau 12 - Concepts relatifs à la durabilité sociale en architecture

## 2.2.4 Synthèse

Elaborer une définition précise de la durabilité sociale est une action complexe. En effet, selon la discipline étudiée et le point de vue pris par l'auteur, différentes approches peuvent apparaître, le point commun restant que la durabilité sociale vise à améliorer la qualité de vie de manière durable et pour toutes les catégories de la population. Les mots-clés qui reviennent régulièrement sont le bien-être, l'accessibilité, les relations humaines, l'équité et la participation. De plus, il est souvent avancé que la durabilité sociale d'un projet doit toujours être ancrée dans un contexte afin de l'adapter aux usagers du lieu. Par conséquent, la diversité des approches reste cependant une force, voire une nécessité, afin de permettre à chacun de moduler le concept selon les besoins du contexte.

La durabilité sociale a souvent été abordée à l'échelle urbaine. En effet les villes présentent la caractéristique de représenter une concentration d'usagers très élevée, et d'être par conséquent le témoin de nombreuses interactions sociales. Les critères de durabilité sociale à l'échelle urbaine doivent être abordés de manière systémique et se divisent en trois catégories. La première catégorie correspond aux critères qui sont liés à l'aménagement physique du territoire. La deuxième catégorie correspond aux critères qui sont liés aux choix politiques et aux formes d'organisation propres à chaque ville. Ces derniers ont plus tendance à dépendre du contexte local et sont plus difficiles à exprimer sous forme de données chiffrées, ce qui conduira dans leur cas à favoriser des recommandations générales. La troisième catégorie correspond aux critères qui sont en lien direct avec le ressenti subjectif des personnes, et qui sont par conséquent beaucoup plus difficiles à mesurer. De manière générale, la notion de qualité de vie est recherchée à la fois à l'échelle de l'utilisateur et à l'échelle du quartier. Cette question d'échelle est incontournable dans la notion de durabilité sociale, car elle est la variable du type d'action à entreprendre dans la poursuite d'un même objectif. De plus, un même critère de durabilité sociale pourra, selon l'approche choisie pour l'aborder, être considéré comme à la fois tangible et intangible, ou dépendant et indépendant d'un autre pilier de la durabilité.

Ces constats se font également à l'échelle du projet d'architecture. On remarque cependant que les critères de durabilité sociale à cette échelle sont particulièrement liés la subjectivité et au ressenti de ses usagers. Dès lors, il peut être pertinent d'intégrer ces derniers dans le processus de conception, dans la logique de démarches participatives, afin de récolter leur parole pour faire correspondre le bâtiment à leurs besoins et attentes, en particulier lorsque le maître d'ouvrage n'est pas lui-même usager du bâtiment. Cependant, il peut arriver que la durée de vie du bâtiment soit plus longue que la durée d'occupation des usagers ayant participé au processus de conception. Pour rester dans une logique de durabilité sociale, qui s'inscrit également dans le temps, le concepteur devra prévoir des capacités de modularité du bâtiment afin qu'il puisse être adapté aux besoins d'autres usagers.

## 2.3 Définition de la notion de BIM

John Eynon évoque le BIM comme un processus de conception, de construction ou d'exploitation d'un bâtiment ou d'une infrastructure, assisté d'informations électroniques orientées objet (Eynon, 2016). Cette description fait référence à plusieurs étapes du projet, en mentionnant que les processus BIM peuvent intervenir dans différentes phases du projet, une seule ou plusieurs, et est utilisé pour faire aboutir des projets de construction ou d'infrastructure.

On y retrouve également la notion d'informations électroniques orientées objet, ce qui implique que les éléments transmis par le concepteur aux logiciels ne sont plus uniquement des lignes qui font sens aux yeux du concepteur. Ces éléments sont désormais affectés à un sens au moment de leur encodage : mur, toiture, mobilier, ... De cette manière le logiciel classe ces objets par type, ces derniers peuvent ensuite être triés par le concepteur qui peut alors agir sur un type d'objet en particulier. Cette méthodologie a donc pour but d'être utilisée pendant toutes les phases du projet, de la conception à la maintenance du bâtiment. Son utilité varie selon l'étape et permet de répondre à différents besoins.

Selon Aryani Ahmad Latiffi, Juliana Brahim et Mohamad Syazli Fathi, il existe dans la littérature six approches utilisées pour définir le BIM :

*« The findings reveal that there are six perspectives in BIM development which are design, estimation, construction process, building life cycle, performance and technology. From the development of BIM, it can be concluded that BIM is a new methodology that involves the use of technologies in order to improve collaboration and communication of construction players as well as the management of documentation » (Latiffi et al., 2014, p. 1).*

Le BIM est donc un processus faisant appel à la CAO, dans lequel le projet est exprimé sous forme de données organisées en paramètres réglables par l'utilisateur afin d'obtenir le résultat souhaité. Le processus est cadré par une méthodologie définie par l'utilisateur. Il s'agit d'une forme de conception paramétrique cadrée, qui se caractérise par le fait que plusieurs approches sont possibles pour le décrire. Les six axes décrits sont la conception, les estimations, le processus de construction, le cycle de vie, la performance, et enfin la technologie. Dans la définition ci-dessus, deux objectifs aux méthodologies BIM sont identifiés : d'une part l'amélioration de la collaboration et de la communication entre les acteurs du projet, et d'autre part la gestion des informations du projet. Il s'agit de deux des trois piliers que nous proposons dans notre définition du BIM : la collaboration et la gestion des informations.

En effet, pour définir le BIM, il faut faire référence à plusieurs facettes qui co-existent au sein d'un même concept, ce qui peut rendre complexe la description des processus BIM. En effet derrière l'acronyme « BIM », plusieurs significations se côtoient. La première partie de l'acronyme fait systématiquement référence au Building Information, mais la dernière lettre, le « M », peut signifier « Model », « Modeling » ou « Management ». Cela implique une combinaison de trois facettes : la banque de données recensant toutes les informations utiles à la construction du projet (Model), la matérialisation du projet en une maquette numérique associée à cette banque de données (Modeling) et enfin la gestion des interactions entre les acteurs œuvrant pour le projet (Management). Cela fait du BIM un processus collaboratif, qui se déroule autour de cette maquette numérique, elle-même construite à partir des informations issues de la banque de données. Dans les sections suivantes, nous détaillons à quoi correspondent ces trois facettes.



### 2.3.1 Facette 1 : la gestion des informations

Bruno Chaudet présente le BIM comme étant au service des acteurs, et plus particulièrement orienté vers le partage d'informations dans le cadre de la construction.

*«[Le BIM correspond à] un ensemble d'outils et de méthodes qui visent à améliorer le partage des informations et des connaissances entre les différents acteurs de l'acte de conception, de construction, de réhabilitation et de gestion des logements » (Chaudet, 2020b, p. 1)*

Bien qu'il nécessite le recours à des outils spécifiques, le BIM n'est pas un logiciel mais plutôt un processus de travail, ce qui est également mentionné dans cette définition à travers l'emploi du mot « méthodes ». Cependant l'aspect numérique n'est pas repris dans cette définition, ce qui implique qu'un processus BIM peut être mis en place sans le recours aux outils numériques, à partir du moment où un outil et/ou une méthode sont utilisés pour guider la communication entre les acteurs du projet et pour assurer la gestion des informations. Il y a donc dans ce cas un travail manuel à réaliser sur le classement et le stockage des informations du projet, sous forme de banque de données organisées.

Au cours de la conception d'un projet, la circulation des informations se déroule par échanges de différents types de documents : graphiques (plans, coupes, façades, modélisations 3D/perspectives), numériques (dans le sens « relatifs au nombre » : estimations budgétaires, métrés, devis) ou manuscrites (appel à projet, cahier des charges, procès-verbal de réunion, suivis par mails). Les informations circulent souvent de manière informelle, ou leur circulation est formalisée de manière propre à une association d'acteurs en particulier. C'est-à-dire qu'un acteur peut être amené à s'adapter à une autre forme de communication, d'autres habitudes, lorsqu'il est placé dans un autre contexte ou mis en relation avec des pairs avec lesquels il ne serait pas habitué à travailler. Cette adaptation se marque en particulier pour les acteurs qui gravitent autour du concepteur ayant pris le rôle de coordinateur de projet.

Anabelle Rahhal relève six catégories d'informations qui peuvent être échangées au cours d'un projet : les informations liées à la compréhension du projet, les informations liées à la modélisation du projet, les informations qui concernent l'exploitation de la maquette numérique, les informations liées à la détection des conflits géométriques, les informations liées à l'organisation du travail collectif et les informations liées à l'appropriation des outils BIM et des autres outils. Son étude relève également que pour faire circuler ces informations, le recours au BIM ne supprime pas l'emploi des autres canaux de communication, comme celui de la communication orale par exemple (Rahhal et al., 2020).

Le choix de l'organisation de ces données va déterminer la capacité des acteurs à pouvoir communiquer entre eux. En effet, il est possible de faciliter la communication en générant des documents interopérables, c'est-à-dire exploitables par tous indépendamment du logiciel utilisé, ce qui mène à envisager les échanges d'informations non plus sous forme de format de fichier, mais plutôt sous la forme de protocoles d'échange (Hochscheid, 2021). La question de l'interopérabilité des logiciels reste centrale dans les discussions autour du BIM, notamment car il existe une confusion entre le BIM en tant que méthodologie, et les logiciels BIM qui rendent possible la mise en place de cette méthodologie. Or le BIM en tant que processus de travail peut être appliqué peu importe le logiciel choisi. Mais pour que des acteurs qui ont choisi des logiciels différents puissent

réaliser un travail collaboratif, il est nécessaire que les données soient lisibles de manière universelle.

### **2.3.2 Facette 2 : la collaboration**

L'acte de conception en architecture se caractérise par l'intervention d'acteurs appartenant à plusieurs domaines d'expertises, qui ont donc des objectifs différents, mais qui doivent malgré tout œuvrer ensemble de façon temporaire autour d'un objectif commun plus grand qu'est le projet dans son ensemble (Boton & Forgues, 2019). Ce travail multi et transdisciplinaire implique de la part des acteurs du projet de mettre en œuvre des stratégies de collaboration, afin de mener à bien le projet tout en travaillant à plusieurs.

La collaboration ne se réalise pas uniquement à l'intérieur du projet, mais également entre projets, entre bureaux, entre équipes. Cette collaboration externe se matérialise par exemple via la mutualisation du matériel de construction ou de la main d'œuvre à travers des applications au modèle similaire aux applications AirBNB ou Uber. Ainsi Kwipped, application américaine, permet de faire circuler du matériel de construction entre professionnels. Dans la même approche, Factoryz, une start-up française créée en 2014, entend gérer les flux de matériels mais aussi de main d'œuvre en mettant les entreprises en relation via une plateforme numérique (Boton & Forgues, 2019).

Les technologies numériques de plus en plus nombreuses, les projets de plus en plus complexes, devant tenir compte de contraintes, notamment environnementales, de plus en plus présentes, sont devenus des enjeux majeurs dans le secteur de la construction, qui rendent le travail collaboratif incontournable (Rahhal et al., 2020). Et pourtant, la collaboration au travail n'est pas une démarche qui se met en place spontanément (Levan, 2016), ce qui accorde à la facette « collaboration » du BIM un avantage tout particulier. En effet, la conception architecturale a évolué au cours des dernières années vers une activité mettant en relation des acteurs aux domaines de connaissance variés. Ces acteurs travaillent ensemble autour de l'objectif commun qu'est le projet, dans une démarche de conception collective.

Samia Ben Rajeb distingue la conception coopérative et la conception collaborative (Figure 23). Dans le premier cas, l'activité de conception est divisée en tâches définies, réparties entre les concepteurs. Un coordinateur de projet est le seul à avoir une vue d'ensemble et est chargé d'organiser les informations entre elles. Dans le deuxième cas, tous les concepteurs ont une vision d'ensemble et organisent leur travail en fonction des informations mises en commun en temps réel. Plusieurs concepteurs peuvent alors agir sur plusieurs tâches, et une tâche peut avoir été manipulée par plusieurs concepteurs (Ben Rajeb, 2011).

Acteur(s)	Concevoir seul	Concevoir ensemble		
	Conception	C.Collaborative (Co-conception)	C.Coopérative (Conception distribuée)	C.Participative
Fonction (Officielle)	Architecte	Architectes, Experts	Architectes, Experts	Architectes, Experts, Utilisateurs
Rôle (acteur de la conception)	Le Concepteur	Un groupe de Concepteur(S)	Plusieurs concepteurs Un coordinateur	Le Concepteur
Validation (choix de la conception)	Le Concepteur	Un groupe de Concepteur(S)	Le Coordinateur	Les Utilisateurs

Figure 23 - Les différents modes de conception (Ben Rajeb, 2011)

Le BIM est considéré comme une approche collaborative, que Martin Bressani décrit comme ceci :

*« Dans leur forme 'idéalisée', les logiciels BIM permettent le développement d'un processus radicalement collaboratif, où designers, ingénieurs, constructeurs, gestionnaires, et toute sortes de consultants, depuis les analystes des coûts jusqu'aux intervenants communautaires, ont quasiment la possibilité de travailler les uns avec les autres. » (Bressani et al., 2019, p. 131)*

Il mentionne ensuite la place du dialogue, voire de la négociation, entre plusieurs acteurs. Cette dimension multi-actorielle remet complètement en question le concept d'auteur de projet, et Martin Bressani évoque même sa disparition comme étant un élément libérateur. Cependant, l'emploi du mot « idéalisée » n'est pas anodin, et témoigne d'un écart entre la théorie du BIM et la pratique du BIM, en particulier face à ce qui concerne la facette de la collaboration.

Au sein des processus BIM, il existe plusieurs niveaux de collaboration, qui sont fonctions de la maturité des bureaux qui choisissent de travailler en BIM (Figure 24). Le niveau considéré comme niveau 0 ou « Pré-BIM » correspond à du dessin assisté par ordinateur, en deux dimensions, dans lequel il n'y a pas de protocole pré-établi d'échange de données entre les acteurs du projet. Le niveau 1 correspond à une modélisation orientée objet, dans laquelle des logiciels dits « BIM » sont employés pour modéliser le bâtiment en trois dimensions, à partir d'une banque de données. A ce niveau, la maquette numérique permet aux concepteurs de gagner du temps sur la réalisation et la mise à jour des dessins, notamment grâce à la synchronisation des vues en temps réel. Cependant, il n'y a pas encore de collaboration optimisée par le numérique à cette étape. Le niveau 2 correspond à l'emploi du numérique pour à la fois réaliser les dessins, et également pour collaborer en interne à plusieurs sur un même fichier. Enfin, le niveau 3 représente une version améliorée de cette collaboration, où toutes les informations relatives au projet sont disponibles numériquement dans un environnement partagé (Boton & Kubicki, 2014; Hochscheid, 2021; Succar, 2010).

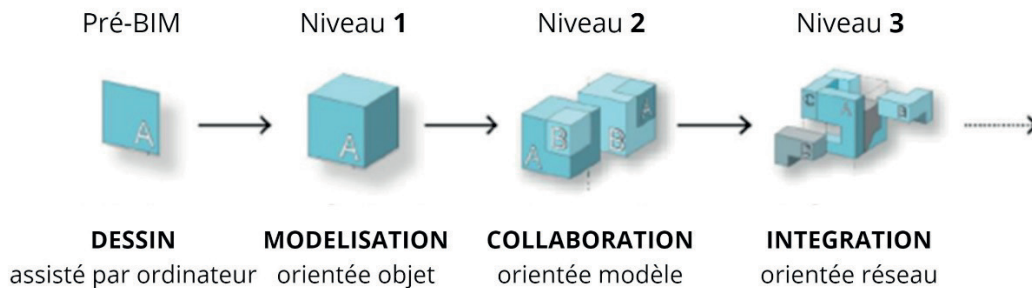


Figure 24 - Niveaux de maturité des pratiques CAO (Hochscheid, 2021) d'après (Boton & Kubicki, 2014; Succar, 2010)

Autodesk, l'un des principaux éditeurs de logiciels de DAO et CAO dans la construction, présente en 2003 le BIM comme une méthodologie permettant « *la disponibilité continue et immédiate d'informations sur l'étendue, le calendrier et les coûts de la conception du projet qui sont de haute qualité, fiables, intégrées et entièrement coordonnées* » (Autodesk, 2003, p. 3). Autodesk précise que le BIM permet de numériser des informations essentielles, ce qui en facilite le partage, et qu'il favorise la productivité en créant des relations cohérentes en temps réel entre les données de conception. Cette description d'un BIM idéal correspond à ce vers quoi tend le niveau 3.

### 2.3.3 Facette 3 : la maquette numérique

Au début de son déploiement, le BIM est défini comme une maquette numérique structurée qui représente les éléments de construction (Latiffi et al., 2014). Etant un élément visuel, cette maquette numérique représente l'image du BIM dans l'imaginaire collectif.

Le concept de mise à jour en temps réel de la maquette, et de la banque de données qui lui est associée, fait partie intégrante des processus BIM et est l'un de ses principaux atouts dans l'optimisation de la conception. En effet, avant l'emploi des méthodes BIM, il n'était pas rare d'observer des erreurs entre les différentes vues du projet, car actualiser les informations sur tous les documents devait se faire manuellement. Il pouvait alors arriver que différentes versions circulent entre les acteurs de la construction dont certaines qui n'étaient plus à jour, problème auquel le BIM se veut être une solution.

Cette visualisation en temps réel est un gros point fort pour la compréhension du projet par des parties non initiées à la lecture de plan, comme cela peut être le cas pour certains maîtres d'ouvrage lorsque leur fonction de MO n'est pas leur métier, ou pour les usagers qui peuvent peiner à comprendre les implications d'un projet.

De plus, la représentation du projet à travers la maquette numérique revêt une importance particulière dans les définitions du BIM, comme on peut le voir par exemple dans la définition qu'en fait Tamer El-Dirabi, dans laquelle il évoque le concept de « représentation numérique » ou de « représentation » à plusieurs reprises :

« *A Building Information Model is a digital representation of physical and functional characteristics of a building project. Each object in a real building is represented by an equivalent digital object in a BIM. These objects are characterized by geometrical representations and semantic and relational metadata.* » (El-Diraby et al., 2017, p. 61)

La maquette numérique créée au cours du processus BIM, du fait de l'aspect collaboratif qui est central dans ces méthodes, est le produit du travail de l'ensemble des concepteurs œuvrant sur le projet. Emilien Cristia et al. observent que cette particularité la fait tendre vers une uniformisation de ses représentations, mais également qu'elle lui confère une dimension sociale :

*« Dans le contexte BIM, le terme de maquette ne renvoie ainsi plus à l'objet physique cantonné à l'atelier de l'architecte ou à l'étagère du maître d'ouvrage, mais devient un nouvel objet circulant entre les différents acteurs et construisant de nouveaux réseaux d'interactions. » (Cristia et al., 2018, p. 8)*

En effet, la maquette numérique se positionne comme un support de communication. C'est autour d'elle que se discutent les orientations générales du projet, mais aussi ses détails. Emilien Cristia et al. évoquent même une modification des rapports sociaux, notamment hiérarchiques, qui sont engendrés par l'utilisation d'un support provoquant les échanges entre les individus :

*« Dans le contexte d'un projet BIM, on observe en effet que la maquette numérique est le support quotidien d'échanges, de malentendus, de mises au point et de négociations portant sur le projet. (...) Toutes ces nouvelles interactions ont d'ailleurs tendance à redistribuer les connaissances tout en horizontalisant les rapports professionnels, ce qui entraîne certainement une recomposition de l'autorité de l'architecte. La mise en place d'un projet BIM semble ainsi avoir tendance à regrouper les différents acteurs (architectes, ingénieurs, entrepreneurs, économistes, BIM managers, maîtres d'ouvrages) issus de mondes sociaux différenciés, autour de la construction collective d'un objet-frontière incarné par la maquette numérique. » (Cristia et al., 2018, p. 9)*

Face au constat de l'interdisciplinarité dans laquelle doit s'insérer la maquette numérique, Michel Cotte appelle à « *une forme de modestie, d'écoute, d'attention au sens des mots et à leur usage chez chacun* » (Cotte, 2009, p. 20), en faisant référence aux différences de vocabulaire qui peuvent exister entre différents corps de métier, et qui peuvent se rencontrer lors de l'élaboration de ces maquettes collaboratives et interdisciplinaires. Il évoque également que bien qu'elle soit issue d'une somme d'informations encodées par différentes personnes, la maquette est plus que la somme des éléments qui la composent.

L'utilisation de la maquette en tant que support d'échanges et de communication peut également être orientée vers l'extérieur du projet, afin de communiquer avec des personnes qui ne font pas partie du processus de conception. Dans une interview, Christelle Gibon, responsable données générales et 3D de Rennes Métropole, explique que les maquettes numériques sont utilisées comme des outils de méditations urbaines, pour par exemple accueillir de nouveaux habitants ou pour présenter les projets de développement économique du territoire, ainsi que son attractivité, notamment lors des rencontres professionnelles ou lors de salons. Elle mentionne également son utilisation pour accompagner la médiation urbaine, en l'utilisant de manière interactive avec les usagers à travers entre autres des ateliers participatifs, mais aussi dans un contexte de réunions techniques entre les équipes de conception et les décideurs (Gibon & Tamoudi, 2017).

### 2.3.4 Les limites du BIM

Autodesk, l'éditeur du logiciel AutoCAD dont nous parlions précédemment, met en avant de nombreux avantages à l'emploi du BIM : la livraison du projet plus rapide, l'amélioration de la coordination entre les acteurs, la diminution des coûts du projet, l'augmentation de la productivité, et également plus de précision et de qualité dans les résultats obtenus (Autodesk, 2003). Les arguments les plus souvent mis en avant sont liés au gain de temps et d'argent que le BIM peut engendrer dans le processus de production des bâtiments, ainsi qu'à la qualité et surtout la précision des projets (Maltese et al., 2017). Cependant il est évident que ces descriptions du BIM par Autodesk s'inscrivent dans le contexte de la mise en vente de leur propre logiciel BIM, Revit. Elles sont donc à remettre en perspective : lorsque l'on confronte cet idéal théorique à la réalité du terrain, plusieurs éléments ressortent comme étant non satisfaisants.

L'un d'eux est que le recours aux méthodes numériques peut être une chose très chronophage, qui demande une forme de sacrifice avant de pouvoir atteindre la productivité promise par Autodesk. A ce sujet, Pierre-Marc de Biasi compare le dessin à la main avec le dessin par ordinateur et conclut :

*« Je crois qu'au total, il y a eu gain de rapidité ; mais l'expérience de reconversion a demandé toute une adaptation et, une fois le dispositif bien au point, il reste que l'informatique se traduit toujours par des exigences de saisie très lourdes, dévoratrices de temps. En revanche, le temps que l'on perd à saisir est largement rattrapé par celui que l'on gagne dans le travail de réfection et de ratures » (Montès & Biasi, 2000, p. 133)*

En réaction aux éloges faites au BIM sur les sujets de vitesse, de disponibilité et de complétude, Christian Girard insiste sur l'essence de l'architecte contextualisée dans les approches BIM :

*« La mission de l'Architecte n'est pas seulement de produire du volume sous la lumière, elle porte un discours de conscience sur la culture, sur la pensée et sur la société. Il nous appartient de dire avec vigueur et d'expliquer avec clarté que si « science sans conscience, n'est que ruine de l'âme », construire sans architecture n'est que ruine de l'espace » (Varenne et al., 2018)*

Il y a là un paradoxe : d'une part il est avancé par Sebastiano Maltese que les projets réalisés avec des méthodes BIM sont plus précis, mais de l'autre s'exprime une crainte de perte de qualité dans les projets.

En réalité, les promesses d'Autodesk à propos de son logiciel ne se réalisent que lorsque les utilisateurs mettent en œuvre le niveau 3 des méthodes BIM. Or, le BIM n'est pas un outil qui est généralisé dans les professions de la construction, notamment chez les acteurs qui produisent des données comme les bureaux d'études. De plus, employer des processus BIM demande une modification profonde des pratiques, et donc demande également aux acteurs de prendre le temps de se former (Gibon & Tamoudi, 2017). On constate donc que le BIM n'est pas souvent implanté à son plein potentiel, c'est-à-dire au niveau de maturité 3 (Hochscheid, 2021).

Atteindre ce niveau nécessite que tous les partenaires de l'architecte qui œuvrent autour du projet soient également formés et outillés à l'utilisation de ces processus, ce qui implique que les petites structures peuvent être exclues de certains projets par manque de moyens ou de temps à

investir dans l'adoption de cette innovation. A ce sujet, Louis Destombes va jusqu'à qualifier le BIM de facteur d'exclusion.

*« Revendiquée comme inclusive, la gestion numérique du projet d'architecture pourrait bien se révéler paradoxalement un facteur radical d'exclusion, tant au niveau des structures professionnelles que des méthodologies de conception et des définitions de la qualité architecturale » (Destombes, 2021, p. 232).*

Il évoque également que si les acteurs sont obligés de s'aligner sur cette méthode de travail, cela passe aussi par la favorisation des critères qui se traduisent facilement dans cette logique de banque de données, quitte à exclure des critères qui pourraient sembler plus abstraits :

*« Ce mouvement d'homogénéisation amène à recentrer la conception architecturale sur les seuls critères de performances techniques et économiques qui se prêtent à la simulation numérique, au détriment des aspects du projet qui résistent à une objectivation sous la forme de données exploitables par l'informatique » (Destombes, 2021, p. 232)*

Or comme nous l'avons vu dans la section « Définition de la durabilité sociale », la durabilité sociale se caractérise justement par des éléments abstraits, qui se traduisent de manière moins évidente en données objectives. Le concept de performance peut être assimilé à une forme de rationalisation, qui s'éloigne du geste artistique du concepteur. Le BIM se montre en effet peu performant dans le traitement des exigences spatiales qualitatives (ESQ<sub>L</sub>), que Aida Siala classe en trois catégories : les exigences d'accessibilité, de topologie et de confort (Siala, 2019). Elle souligne également que les outils BIM sont souvent peu orientés vers le concept d'espace, et que les ESQ<sub>L</sub> ne sont jamais envisagées comme des contraintes dans ce type d'outils.

*« La réduction de l'approche sensible de l'architecture à une démarche à prédominance technique ne permet de révéler que certaines informations quantitatives et restrictives qui ne traduisent guère l'expérience personnelle multi-sensorielle de l'Architecte » (Siala et al., 2016, p. 1)*

Plusieurs obstacles sont identifiés dans l'implémentation du BIM. La résistance au changement, la courbe d'apprentissage et les frais de formation nécessaires, le coût des logiciels, le manque de sensibilisation au BIM ou le manque d'experts dans le secteur de la construction (Ahmed, 2018; Siebelink et al., 2021) font partie des éléments qui peuvent freiner l'adoption du BIM.

De plus, les échanges d'informations, que ces dernières soient qualitatives ou quantitatives, peuvent être à l'origine d'une perte des données au moment du passage d'un outil à un autre. En effet, l'interopérabilité et la compatibilité des données n'est pas encore optimale entre les différents outils (Liu, Xie, et al., 2015). La qualité d'un projet peut d'ailleurs être mise en relation avec l'efficacité du travail collaboratif, qui nécessite un niveau élevé d'interopérabilité (Sampaio & Gomes, 2021). Or la nécessité d'utiliser des outils complémentaires est particulièrement vraie lorsqu'il s'agit de travailler avec des informations liées à la durabilité, qui nécessitent d'avoir recours à des outils spécialisés tels que les simulations énergétiques. Ces outils sont particulièrement touchés par les problèmes d'interopérabilité (Gupta et al., 2014). La perte de données qui peut s'opérer au moment du passage d'un logiciel à l'autre peut générer le besoin de ressaisir les informations, et donc de perdre du temps, voire de l'information. Cela implique que le BIM puisse n'être pas encore suffisamment complet pour permettre une approche multidisciplinaire, orientée vers l'architecture durable.

Le BIM représente donc un processus qui a pour objectif d'améliorer la communication et la collaboration dans les projets de conception, ce qui fait de lui un outil qui œuvre pour la durabilité sociale par nature, l'amélioration de la communication étant un des enjeux liés au pilier social. Mais en parallèle il ne pousse pas les concepteurs à traiter les autres enjeux liés à ce pilier. Nous avons d'ailleurs vu dans les sections précédentes que l'apparition du BIM est issue d'un besoin de productivité qui passe par l'amélioration de la communication et de la circulation des informations, et pas d'une volonté d'améliorer la durabilité sociale des projets. Il y a donc une opposition entre la nature du BIM, qui vise à favoriser la communication et les interactions au cours du processus de conception, et les capacités du BIM, qui sont plus orientées vers le traitement d'informations concrètes que d'informations sensibles.

### 2.3.5 Synthèse

Les processus BIM ont eu beaucoup de succès ces dernières années, en particulier aux Etats-Unis où son adoption est passée de 17% en 2007 à 71% en 2012. L'Europe espère elle aussi augmenter la proportion de projets réalisés en BIM sur son territoire, objectif qui fait l'objet d'une directive de l'Union Européenne sur les marchés publics (Maltese et al., 2017).

Le BIM correspond à un processus de travail pour lequel nous identifions trois dimensions :

- Une dimension visuelle : la maquette numérique en trois dimensions,
- Une dimension de classification, gestion et exploitation des données : la banque de données sur base de laquelle est générée la maquette numérique,
- Une dimension de communication : la collaboration et les échanges entre les acteurs, ainsi que l'organisation de ces échanges.

Ces trois facettes que sont la gestion des informations, la collaboration et la maquette numérique sont donc interconnectées et indissociables pour former l'essence du processus BIM. Ce dernier peut être vu de prime abord comme une évolution technologique, orientée vers la performance, l'optimisation, de par la dimension très rationnelle à laquelle renvoient les protocoles de classement des informations ou d'échanges entre les acteurs du projet. Cependant, le point commun entre ces trois facettes est justement cette nouvelle manière de communiquer et cette organisation des relations qui se trouvent toutes deux modifiées. Comme nous le relevions précédemment, cela confère aux processus BIM une dimension sociale évidente, qui est cependant peu souvent abordée sous l'angle des sciences humaines.

Les limites des processus BIM se situent dans le fait que son utilisation à son plein potentiel est actuellement réduite, car peu d'agences l'utilisent actuellement au niveau 3 (Hochscheid & Halin, 2020b). L'appropriation des outils et processus BIM nécessite que les acteurs du secteur disposent de temps et de moyens financiers pour se former (Gibon & Tamoudi, 2017). Cela peut être un facteur d'exclusion pour les petites entreprises (Dainty et al., 2017), et la logique « banque de données » qui favorise les critères mesurables peut également être un facteur d'exclusion des critères plus abstraits (Destombes, 2021). Nous avons également constaté que la structure en réseaux du BIM lui confère de la flexibilité dans le traitement des informations.



## 2.4 Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, nous avons approfondi les définitions de l'architecture durable et de la durabilité sociale. Nous avons constaté qu'il n'existe pas de définition communément admise pour ces deux concepts, probablement parce que la notion de la durabilité est un concept volontairement ouvert. Nous soulignons dans le chapitre 1 que cette ouverture avait initialement pour but de laisser chaque acteur s'appropriier le concept de la durabilité, et en particulier de la durabilité sociale, selon ses besoins et le contexte du projet.

Cependant, malgré l'absence d'une définition commune, nous avons observé que les thématiques de l'énergie et des matériaux sont proposées de façon récurrente dans les différentes approches de l'architecture durable que nous avons présentées dans ce travail. En parallèle, le volet social est souvent traité de façon hétérogène dans les définitions de l'architecture durable, chaque auteur proposant des critères différents selon l'échelle étudiée et l'angle choisi pour aborder la question. Par ailleurs, l'objectif poursuivi reste d'améliorer le bien-être de tous. Cette différence de traitement se répercute dans les outils d'évaluation de la durabilité, qui sont le plus souvent majoritairement orientés vers l'énergie, les matériaux et la production de carbone.

Lorsque l'on se penche spécifiquement sur le concept de la durabilité sociale, on peut relever que la notion de contexte lui est indissociable. Cela rend plus difficile son intégration dans des outils généralistes, puisque le fonctionnement de ces outils se base sur l'application de solutions standardisées qui peuvent être appliquées dans un maximum de contextes. L'échelle étudiée représente également un élément important dans la prise de décision concernant la durabilité sociale. En effet, pour un même objectif, le type d'actions à mettre en place pourra varier selon l'échelle d'action dont l'acteur dispose.

Les critères de durabilité sociale se classent en critères tangibles et intangibles, selon leur caractère abstrait ou concret. Ils peuvent également être classés selon leur dépendance à un autre pilier de la durabilité, ou au contraire leur indépendance à ces piliers. Cela implique qu'il est possible de traiter des caractéristiques de la durabilité sociale à travers le traitement de critères écologiques ou économiques. Par conséquent, la faible présence des critères sociaux dans les outils d'évaluation ne devrait pas constituer un frein complet au développement de la durabilité sociale, mais ces outils peuvent engendrer une invisibilisation des caractéristiques indépendantes et intangibles.

Or, nous avons constaté que le BIM engendrait de nouvelles manières de communiquer les informations, ce qui lui confère un caractère social sous-jacent. De plus, nous avons également observé dans les processus BIM une forme de flexibilité dans le traitement de l'information, ce qui leur permet de prendre en compte des types d'informations variés.

Ces observations nous amènent à nous poser le questionnement suivant : les processus BIM peuvent-ils être utilisés par les concepteurs pour améliorer la durabilité sociale de leurs projets ? Afin de répondre à cette question, nous allons dans les sections suivantes utiliser le concept de l'étude des usages pour explorer les différentes façons dont le BIM peut entrer en interaction avec le concept de la durabilité sociale des projets.

## **PARTIE 2 : ETUDE DES USAGES**

La deuxième partie de ce travail a pour objectif de vérifier l'utilité des processus BIM dans la prise en compte des enjeux de durabilité sociale. En effet, la première partie de ce travail permet de conclure que le BIM présente des caractéristiques qui pourraient être utiles dans la prise en compte de ces enjeux, mais il ne s'agit à ce stade que d'un potentiel non vérifié. Cette partie a pour but de montrer quels enjeux de la durabilité sociale sont exploitables à travers des usages BIM, et conduit à l'élaboration d'un modèle sous forme de tableau listant les critères de durabilité sociale et les usages BIM associés.

L'accroche théorique principale de la réalisation de cette évaluation est une méta-analyse sur l'emploi du BIM dans les démarches de construction durable, réalisée par Ruben Santos et Lincy Pil de la Vrije Universiteit Brussel, et par Antonio Aguiar Costa et José D. Sylvestre de l'Instituto Superior Tecnico de l'Université de Lisbonne, parue en 2019 dans la revue *Automation in Construction* (Santos et al., 2019).

### **CHAPITRE 3 : CADRE THÉORIQUE DE L'ÉTUDE DES USAGES**

Notre démarche consiste à étudier l'appropriation des critères de durabilité sociale par les concepteurs en architecture, et ce à travers les usages BIM. La question qui a initié ce travail de thèse est la suivante : le caractère abstrait des enjeux sociaux inscrits dans les démarches durables en architecture est-il compatible avec la transition numérique qui a lieu dans le secteur de la construction, en particulier avec les processus BIM ?

Pour répondre à cette question, nous avons utilisé le domaine d'étude des usages. En effet, cette approche a pour objectif de catégoriser et observer l'utilisation d'une nouvelle technologie qui est mise à disposition des utilisateurs, ce qui permet ensuite d'établir les conditions de déploiement de cette dernière dans un contexte donné (Terrade et al., 2010). Dans la section suivante, nous verrons quelles sont les spécificités de l'étude des usages, et comment cette approche permet d'aborder la question des enjeux sociaux dans les pratiques BIM.

### 3.1 Cadre théorique de l'étude des usages

L'étude des usages permet d'évaluer l'usage d'une technologie en amont de sa diffusion, en étudiant son acceptabilité au sein d'une communauté. Le concept d'acceptabilité est récurrent dans l'étude des usages. Michel Dubois et Marc-Eric Bobillier-Chaumon précisent qu'il permet de rendre compte des différents processus psychologiques pouvant être à l'origine de l'adoption d'une technologie (M. Dubois & Bobillier-Chaumon, 2010). Les modèles d'acceptabilité ont pour objectif de décrire les facteurs qui influencent l'intention d'utiliser ou pas une technologie, et l'usage réel qui en découle (Amadiou et al., 2019).

*« L'acceptabilité sociale constitue l'étape initiale du processus d'adoption des technologies. Elle exprime le degré potentiel d'acceptation d'une technologie par les utilisateurs. » (Bobillier-Chaumon & Dubois, 2009, p. 356)*

L'acceptabilité renvoie d'abord aux projections que les personnes se font d'une technologie qui n'a pas encore été expérimentée, alors que l'acceptation fait référence à la façon dont les personnes ont vécu une technologie qu'ils ont précédemment utilisée. De manière générale, le terme d'acceptabilité peut être choisi pour désigner l'ensemble des conditions nécessaires à l'utilisation d'une technologie (Sagnier et al., 2019). Pour rendre cette technologie acceptable, il faut qu'elle rencontre les attentes des personnes qui projettent son utilisation (Dinet, 2010).

L'appropriation des technologies s'évalue à travers trois critères qui sont l'utilité, l'utilisabilité et les influences sociales, et peut se mesurer avant sa diffusion (Terrade et al., 2010).

L'utilité correspond à la capacité d'une technologie à répondre au besoin fixé par son utilisateur. Etudier l'utilité d'une technologie revient à évaluer si les fonctions du système correspondent aux buts de l'utilisateur. L'utilisabilité représente la maniabilité de la technologie, c'est-à-dire son niveau de facilité d'utilisation. On y retrouve cinq axes à tester (Figure 25) : la facilité d'apprentissage, l'efficacité au cours de l'utilisation, la facilité de l'utilisateur à se remémorer les actions menant à son but, la prévention des erreurs, et la satisfaction ressentie au cours de l'utilisation (Kaasinen, 2005; Nielsen, 1993).

Cependant, ces deux concepts ne suffisent pas à assurer le déploiement ou non d'une technologie, car le système peut ne pas être accepté socialement malgré ses capacités à être utile et utilisable. C'est pourquoi l'utilité et l'utilisabilité sont complétées par la notion d'acceptabilité sociale.

*« En d'autres termes, l'utilité renvoie à la correspondance entre ce que la technologie est susceptible de réaliser et ce que l'utilisateur veut en faire alors que l'utilisabilité renvoie à la facilité d'utilisation d'une technologie. Or, une technologie ou un nouveau service peut être utile et utilisable sans que cela ne permette de prédire avec quelques certitudes son usage. Il reste que le contexte social dans lequel se déploie cet usage peut, pour certaines technologies et dans certaines circonstances, venir perturber l'acceptabilité du système pourtant prédite à partir de la connaissance de son utilité et de son utilisabilité. » (Terrade et al., 2010, p. 385)*

Nielsen envisage l'étude des usages sous le prisme de la question d'acceptabilité d'un système, considérant que l'utilité et l'utilisabilité relèvent d'une forme d'acceptabilité pratique liée à la pertinence (« *Usefulness* ») du projet. Cette dernière est alors mise à un niveau parallèle à celui de l'acceptabilité sociale (Figure 25).

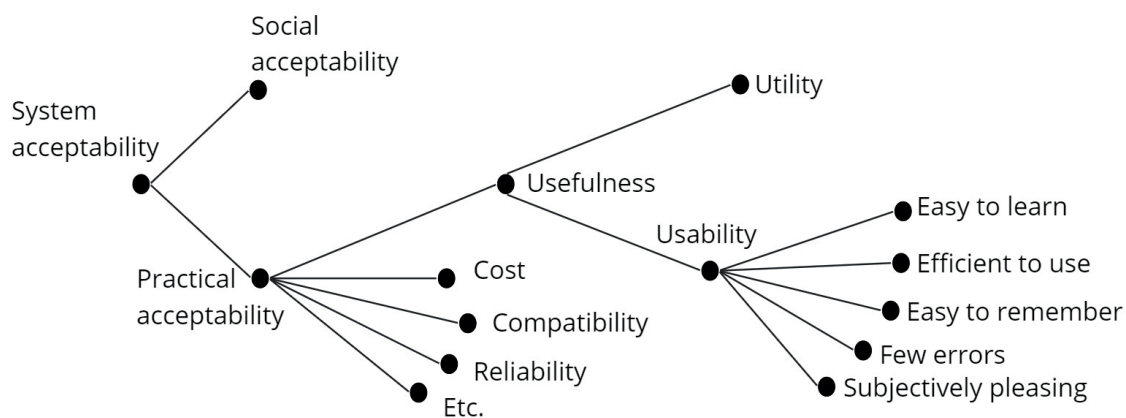


Figure 25 - Modèle d'acceptabilité selon Nielsen (Nielsen, 1993), représenté par (Kaasinen, 2005)

Dans cette proposition, on observe donc que l'acceptabilité d'un système est conditionnée par sa pertinence pratique et par son acceptation sociale. Cependant, on ne retrouve pas de hiérarchie quant au degré d'importance de l'utilité, de l'utilisabilité et de l'acceptation sociale. Pourtant, si une technologie n'est pas compatible avec la fonction recherchée, il serait absurde d'aller plus loin et de tester son utilisabilité et son acceptation sociale, car le projet serait non-pertinent. Cet état de fait est confirmé par une étude de Davis et al., réalisée sur un panel de 107 étudiants confrontés à un nouveau logiciel pendant un semestre de cours. Les auteurs observent que l'utilisabilité n'influence l'intention d'usage qu'à travers le concept d'utilité (Davis et al., 1989).

*« Specifically, after the one-hour introduction to the system, people's intentions were jointly determined by perceived usefulness (1 = 0.62) and perceived ease of use (3 = 0.20). At the end of 14 weeks, intention was directly affected by usefulness alone (1 = 0.79), with ease of use affecting intention only indirectly via usefulness (1 = 0.24) » (Davis et al., 1989, p. 997).*

Dans la suite de ce manuscrit, nous ferons régulièrement appel aux concepts d'usagers et d'utilisateurs. Il nous semble important de définir la distinction subtile qui existe entre ces deux notions. L'usager se caractérise par le fait qu'il utilise un service public pour lequel qu'il a un droit d'usage, tandis que l'utilisateur désigne la personne qui se sert d'un objet ou un service, public ou privé, sans pour autant avoir un droit d'usage sur cet objet ou ce service.

*« Un usager est considéré soit comme l'utilisateur d'un service public, alors offert en situation de monopole de droit pour le téléphone et la télévision, soit comme l'utilisateur d'un domaine public » (Paquienséguy, 2018, p. 467)*

A ce sujet, Yves-François le Coadic affirme que *« souvent employé à la place d' 'usager' (...) [l'utilisateur] demeure un concept technique, de nature empirique, lié à l'outil. (...) L'utilisateur est la personne qui emploie, qui se sert d'un produit, d'un service, d'un système d'information, ces éléments subsistant après l'utilisation »* (Le Coadic, 2004, p. 62). Il estime que l'utilisateur est associé à la mise en application d'un comportement conforme au mode d'emploi d'un dispositif, quel qu'il soit, alors que l'usager est défini par la reproduction de son comportement de manière constante et répétée. Cela signifie d'une part que l'utilisateur peut devenir usager à mesure de l'évolution de son appropriation de l'usage du dispositif, et d'autre part que le comportement de l'usager comporte une part d'imprévisibilité. L'usager s'appropriera de lui-même les dispositifs ou les lieux qui lui seront

soumis, dans une forme d'autonomie apparente (Le Deuff, 2018). Serge Proulx associe l'usage social aux significations culturelles des comportements de la vie quotidienne (Proulx et al., 2005).

*« L'appropriation fait référence notamment à des oppositions entre logiques de conception et logiques d'usages ou entre usages prescrits et usages effectifs » (Paganelli, 2012, p. 65)*

C'est pourquoi l'étude des usages, en tant que discipline scientifique, se caractérise également par l'intérêt qu'elle porte au détournement des usages, avec pour objectif d'observer la manière dont les dispositifs techniques peuvent être détournés. On parle dans ce cas de mésusage (Le Coadic, 2004). La fracture numérique peut impacter l'usage et le mésusage des dispositifs de technologie numérique (Andonova, 2009). De plus, différentes problématiques peuvent apparaître dans un contexte de numérisation des professions, telles que le sentiment d'urgence, l'hyperconnexion, la surcharge d'informations disponibles ou la difficulté à poser des limites entre la sphère privée et professionnelle (Boudokhane-Lima & Felio, 2015).

Dans le cas de notre recherche, la technologie étudiée est le BIM, et la fonction recherchée est la gestion des enjeux de durabilité sociale dans la construction. Le premier élément que nous vérifions est l'utilité des processus BIM dans la gestion des enjeux de durabilité sociale. Cette étape nous permet de créer un modèle de catégories d'usages BIM qui sont des atouts positifs pour la durabilité sociale des projets.

Ensuite, nous étudions dans la partie suivante l'acceptabilité sociale de ces usages. En effet, nous avons observé, dans les chapitres suivants et dans nos enquêtes, que la durabilité sociale était souvent traitée de manière secondaire face à la durabilité écologique et économique, y compris dans les démarches de construction durable. Il existait donc une possibilité que les usages que nous avons identifiés soient rejetés par les concepteurs, c'est pourquoi nous avons choisi d'étudier l'acceptabilité sociale avant l'utilisabilité dans ce projet. De plus, comme le soulignent Tricot et al., un modèle passant toutes les étapes théoriques de l'acceptabilité pratique peut malgré tout ne pas s'intégrer dans les mœurs et être accepté socialement (Tricot et al., 2003). L'acceptabilité sociale fait donc partie intégrante du processus d'acceptation d'un système, au même titre que l'utilité et l'utilisabilité. Par ailleurs, Davis et al. démontrent que, dans le cadre de l'étude sur l'intention d'utilisation d'une technologie informatique, l'utilité perçue est un facteur majeur alors que l'utilisabilité est un facteur important mais secondaire (Davis et al., 1989). Pour ces différentes raisons, notre recherche s'articule en priorité autour du concept de l'utilité et de celui de l'acceptation sociale. A travers ces deux concepts, nous répondrons aux deux questions suivantes :

- Peut-on utiliser les processus BIM pour améliorer la durabilité sociale des projets ?
- Comment les concepteurs perçoivent-ils l'intégration de ces enjeux dans leurs pratiques BIM ?

L'étude de ces deux questions permettra de proposer un modèle afin de définir une première approche des conditions de déploiement des enjeux de la durabilité sociale à travers les usages BIM. Ce modèle pourra être testé ultérieurement sur le plan de l'utilisabilité pour compléter notre recherche et approfondir les connaissances sur les conditions de déploiement des usages BIM améliorant la durabilité sociale des projets. C'est pour atteindre cet objectif, nous avons organisé ce document en trois parties : premièrement la contextualisation de la double transition, numérique et environnementale, et les définitions qui y sont associées, deuxièmement l'étude de l'utilité des usages BIM pour la durabilité sociale et troisièmement l'évaluation de l'acceptabilité sociale des concepteurs face à ces usages.

## 3.2 Application sur les usages BIM

Dès lors que l'on s'intéresse à la définition du BIM, il convient de se questionner sur l'état de ses usages. Un usage BIM correspond à une méthode permettant d'atteindre un objectif à l'aide d'un processus BIM :

*« Un usage BIM permet d'aborder les pratiques BIM en distinguant les différents usages qui sont fait des maquettes numériques, pour des actions métiers précises allant de la production d'images jusqu'à l'exploitation de bâtiment. » (De Boissieu et al., 2016, p. 5)*

Plusieurs types de classifications d'usages BIM existent dans la littérature scientifique et les pratiques des acteurs. Dans la section ci-dessous, nous développerons d'abord les types d'usages BIM dans un contexte de conception architecturale, et nous développerons ensuite cette notion dans un contexte de construction durable.

### 3.2.1 Les usages BIM dans la pratique architecturale

Dans le contexte des usages BIM, la notion d'objectif est indissociable de la notion d'usage. Ralph Kreider et John Messner décomposent ces usages en cinq catégories d'objectifs : rassembler, générer, analyser, communiquer et réaliser (Kreider & Messner, 2013). Chacun de ces thèmes est subdivisé en plusieurs sous-catégories d'usages, elles-mêmes associées à des objectifs ciblés (Figure 26). Leur approche est centrée sur le concept d'information, chaque catégorie d'usage correspondant à une manière d'utiliser l'information.

L'usage « rassembler » correspond à un objectif de collecte et d'organisation des informations dans une banque de données. « Générer » rassemble les usages visant à créer de nouvelles informations à partir des informations collectées, afin de mener à des prises de décisions. « Analyser » correspond aux usages permettant de réaliser des analyses à partir des informations collectées et générées. « Communiquer » consiste en la création de supports de communication synthétisant les informations obtenues grâce aux usages précédents. Enfin, « réaliser » correspond aux usages permettant de concrétiser l'ensemble des informations présentes dans le modèle en un objet concret et physique. Chaque catégorie d'usage sert donc de source pour la catégorie suivante.

Aucun de ces usages ne visent la durabilité ou la durabilité sociale en particulier. Cependant, le fait qu'ils soient tous orientés vers le concept d'information permet de faire varier la thématique à traiter via ces usages de manière très flexible, en adaptant le choix des informations à collecter, générer, analyser, communiquer ou mettre en œuvre.

<b>BIM Use Purpose</b>		<b>BIM Use Objective</b>		<b>Synonyms</b>
01	<b>Gather</b>	<b>To collect or organize facility information</b>		Administer, collect, manage, acquire
	01	Capture	To represent or preserve the current status of the facility and facility elements	Collect
	02	Quantify	To express or measure the amount of a facility element	Quantity takeoff
	03	Monitor	To collect information regarding the performance of facility éléments and systems	Observe, measure
	04	Qualify	To characterize or identify facility elements' status	Follow, track, identify
02	<b>Generate</b>	<b>To create or author information about the facility</b>		Create, author, model
	01	Prescribe	To determine the need for and select specific facility elements	Program, specify
	02	Arrange	To determine location and placement of facility elements	Configure, lay out, locate, place
	03	Size	To determine the magnitude and scale of facility elements	Scale, engineer
03	<b>Analyze</b>	<b>To examine éléments of the facility to gain a better understanding of it</b>		Examine, evaluate
	01	Coordinate	To ensure the efficiency and harmony of the relationship of facility elements	Detect, avoid
	02	Forecast	To predict the future performance of the facility and facility elements	Simulate, predict
	03	Validate	To check or prove accuracy of facility information and that is logical and reasonable	Check, confirm
04	<b>Communicate</b>	<b>To present information about a facility in a method in which it can be share or exchanged</b>		<b>Exchange</b>
	01	Visualize	To form a realistic representation of a facility or facility elements	Review
	02	Transform	To modify information and translate it to be received by another process	Translate
	03	Draw	To make a symbolic representation of the facility and facility elements	Draft, annotate, detail
	04	Document	To create a record of facility information including the information necessary to precisely specify facility elements	Specify, submit, schedule, report
05	<b>Realize</b>	<b>To make or control a physical element using facility information</b>		Implement, perform, execute
	01	Fabricate	To use facility information to manufacture the éléments of a facility	Manufacture
	02	Assemble	To use facility information to bring together the separate éléments of a facility	Prefabricate
	03	Control	To use facility information to physically manipulate the operation of executing equipment	Manipulate
	04	Regulate	To use facility information to inform the operation of a facility element	Direct

Figure 26 - Les objectifs des usages BIM (Kreider & Messner, 2013)

Une autre façon de classer les usages BIM est d'utiliser les phases de vie du bâtiment, pour identifier les manières dont le BIM peut être utilisé à chaque moment du projet.

*« On distingue plusieurs manières d'exploiter la maquette numérique et les informations de l'ouvrage au cours du cycle de vie avec le BIM de conception, BIM de construction, BIM de gestion exploitation maintenance, et le BIM de déconstruction. On investit également depuis récemment le BIM pour la programmation » (Hochscheid, 2021)*

C'est en suivant cette logique de phases du projet qu'est conçu le guide des usages BIM proposé par l'Université de Harvard, qui classe différents usages selon qu'ils appartiennent à la phase de conception, de préparation à la construction, de construction ou d'exploitation (Harvard University, 2013). Dans ce guide, un grand nombre d'usages sont communs à la proposition de Ralph Kreider et John Messner. Nous notons cependant dans le guide réalisé par l'Université de Harvard la présence de l'usage de la sécurité, qui peut être considéré comme ayant un caractère social et qui n'est pas présent dans la version présentée ci-dessus.

En 2015, le projet BIMetric s'attache à lister les usages BIM exploités en France (De Boissieu et al., 2016). A partir de ce travail, mené en collaboration entre trois laboratoires, une liste de 21 usages est déterminée. Dans cette approche, les usages proposés sont également attribués à une phase, mais il est considéré qu'un usage peut être employé au cours de plusieurs phases. Dans son cadre de référence « BIM for Value », la Smart Building Alliance (SBA) utilise cette répartition des usages pouvant appartenir à plusieurs phases, et propose également un classement selon le type d'ouvrage à réaliser et selon le niveau d'exigence attendu. Une attention particulière est accordée aux attentes du maître d'ouvrage, qui doit pouvoir expliciter celles-ci clairement avant le début du projet. La SBA propose d'ailleurs un outil afin d'aider ce dernier à déterminer les usages qui serviront ses attentes (SBA, 2019).

Les dimensions du BIM peuvent également servir à la classification des usages BIM. Ces dimensions constituent des couches de compréhension du projet à travers le BIM, chacune d'elles rassemblant des informations orientées autour d'une thématique. Le nombre de dimensions varie selon les sources. Les quatre premières dimensions, qui mettent un certain nombre d'auteurs d'accord, sont les suivantes (Piaseckienė, 2022) :

- 2D : informations liées à la modélisation en deux dimensions
- 3D : informations permettant la visualisation en trois dimensions
- 4D : informations liées au temps
- 5D : informations liées aux coûts

A ces quatre dimensions se sont ajoutées au cours des années la 1D, reprenant les informations textuelles liées aux processus de gestion (Bianchini & Nicastro, 2018), la 6D pour la thématique de la circularité et de la durabilité (Dautremont et al., 2018), et la 7D pour la thématique de la maintenance du bâtiment (Goretti & Kaming, 2023). La 6D et la 7D sont parfois interchangeables, mais elles sont attribuées comme décrites ci-dessus dans 80% des cas (Charef et al., 2018). Il est parfois fait mention d'une huitième dimension regroupant les informations liées à la sécurité (Botrugno et al., 2022), mais elle peut également être associée aux informations liées à la déconstruction du bâtiment (Charef, 2022). D'autres dimensions peuvent exister et sont susceptibles de se développer dans les années à venir en fonction des attentes des concepteurs et maîtres d'ouvrages liées à l'utilisation du BIM.



A travers ces différents exemples, qui ne sont pas exhaustifs, on peut observer qu'il est possible d'aborder le concept d'usage de manière variée mais que la notion des attentes, et donc des objectifs, reste au centre de toutes ces propositions (Tableau 13). Dans la section suivante, nous réalisons un focus sur les usages qui poursuivent un objectif en lien avec la durabilité des projets.

<b>Auteur</b>	<b>Date</b>	<b>Mots-clés</b>
Kreider & Messner	2013	- Informations - Rassembler - Générer - Analyser - Communiquer - Réaliser
Université de Harvard	2013	- Phases du projet - Phase de conception - Phase de préparation à la construction - Phase de construction - Phase d'exploitation
De Boissieu et al.	2016	- Phases du projet
SBA	2019	- Phases du projet - Type d'ouvrage

*Tableau 13 - Concepts utilisés pour classer les usages BIM*

### 3.2.2 Usages du BIM pour la durabilité à travers le concept de Green BIM

Comme nous l'avons démontré dans le chapitre précédent, le secteur de la construction a connu ces dernières années à la fois une transition numérique et une transition durable. Ces deux transitions ont évolué en parallèle, jusqu'au moment où elles se sont rencontrées. En effet, la transition durable a amené les concepteurs à devoir intégrer dans leurs projets une quantité importante de nouvelles informations, liées à la fois aux caractéristiques techniques, aux performances, aux consommations et productions d'énergie ou à l'empreinte carbone.

La difficulté engendrée par l'augmentation du nombre de critères dont il a fallu tenir compte pour construire des bâtiments plus durables a généré un besoin, celui de la gestion de ces informations. Or nous avons vu dans le chapitre précédent que le numérique s'est fait une place en architecture justement en partie pour répondre à ce besoin de gestion des informations. La particularité dans cette rencontre entre transition numérique et transition durable est que le focus est fait sur les informations permettant de répondre aux enjeux de cette deuxième transition.

En effet, la durabilité fait appel à la notion de complexité, qui nécessite une approche transdisciplinaire pour être comprise et donc intégrée. Or les processus BIM permettent de tenir compte de cette particularité :

*« The multidimensional approach of the sustainable development can be supported by the advantages of the BIM methodology for the multidisciplinary work, the interaction with the environmental analysis tools and the generation of quantitative data, contributing to the architectural conception from its early stages and promoting a multiple criteria approach of the project. » (Salgueiro & Ferries, 2015, p. 301)*

Dans cette partie, nous explorerons les usages du BIM permettant d'améliorer la durabilité des projets. Pour aborder les possibilités d'interaction entre le BIM et la durabilité des projets, nous utiliserons le concept de Green BIM. Le terme est plutôt récent, et prend de l'ampleur en 2008, notamment à travers un livre co-écrit par Eddy Krygiel, architecte, ancien professeur à la faculté d'architecture de l'Université du Kansas, ancien responsable de l'implémentation du BIM chez BNIM et co-auteur de la série « Mastering Revit Architecture ». Le titre de l'ouvrage fait lui-même mention du concept de Green BIM : « *Green BIM : Successful Sustainable Design with Building Information Modeling* ». Dans cet ouvrage, il identifie sept manières d'utiliser le BIM dans des démarches de constructions durables et les classe en deux thématiques.

La première concerne la forme des bâtiments, et correspond à l'orientation, la massification et l'étude de la lumière du jour. La deuxième concerne les systèmes et correspond à la gestion de l'eau, les modèles énergétiques, l'utilisation d'énergies renouvelables et l'utilisation de matériaux durables (Krygiel & Nies, 2008).

Avant cette mention du Green BIM, il est plutôt fait allusion à une forme de « Sustainable BIM », notamment en 2007 dans un article publié à l'occasion de la 25<sup>ème</sup> conférence eCAADe. Cet article porte d'une part sur l'amélioration de l'enseignement de la conception durable grâce au BIM et aux jeux informatiques dans les études d'architecte, et d'autre part sur l'analyse de l'impact des comportements humains et de la performance énergétique sur la conception durable, et ce à nouveau à travers une approche portée sur les jeux et les simulations (Yan & Liu, 2007).

Yujie Lu et al. réalisent en 2017 une méta-analyse recoupant 550 articles issus de 28 journaux publiés entre 1999 et 2016, et dont l'objet est d'observer les interactions entre le BIM et le développement durable en général, ou un des aspects du développement durable en particulier (Figure 27) (Lu et al., 2017).

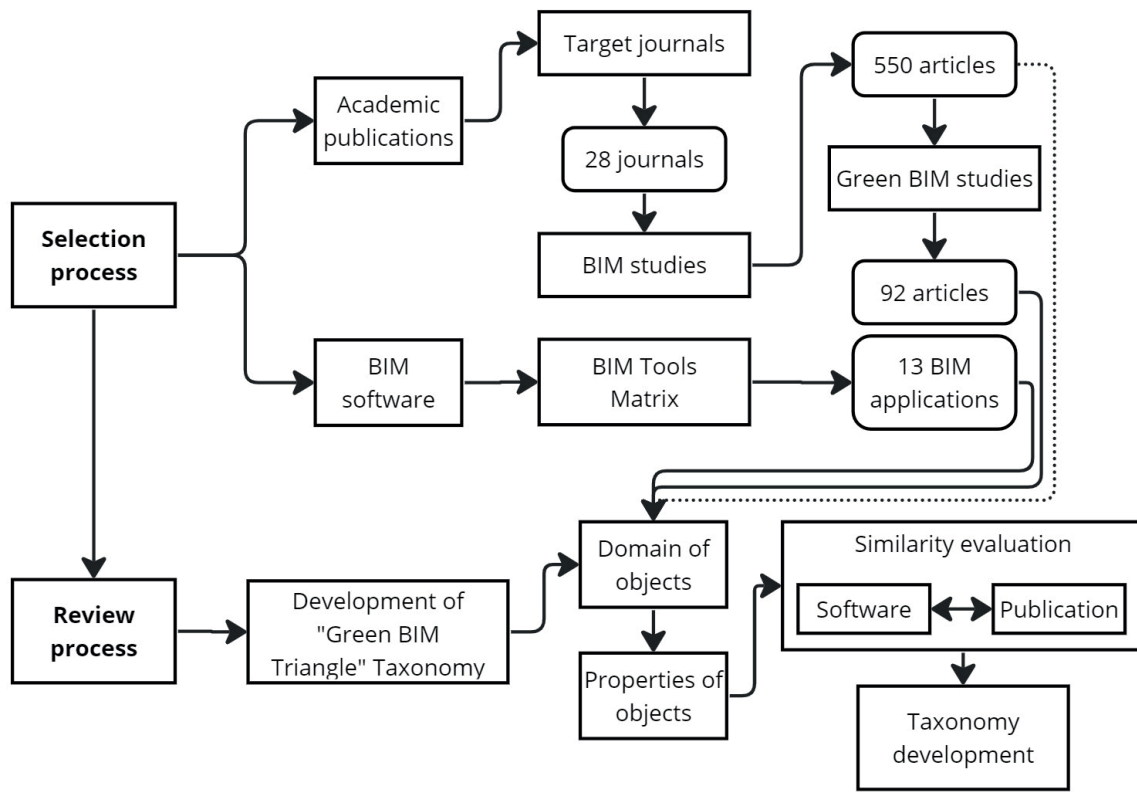


Figure 27 - Processus de travail utilisé pour la méta-analyse à l'origine du concept de Green BIM Triangle (Lu et al., 2017)

A partir de cette étude, ils mettent au point une taxonomie permettant de conceptualiser les différentes approches possibles lorsqu'on souhaite croiser le BIM et le développement durable, qu'ils appellent le « Green BIM Triangle ». En effet, leur méta-analyse a permis de mettre en évidence trois approches autour desquelles s'organisent les liens entre le BIM et les démarches durables dans la construction. Ces approches sont l'assistance dans l'évaluation environnementale des projets, la simulation et le calcul des performances environnementales et enfin l'étude du cycle de vie des bâtiments. Elles sont organisées autour de trois piliers : un premier pilier lié au BIM, décrivant les différentes caractéristiques du BIM, un deuxième pilier listant les phases du projet, et un dernier pilier lié aux caractéristiques durables dans la construction (Figure 28) (Lu et al., 2017).

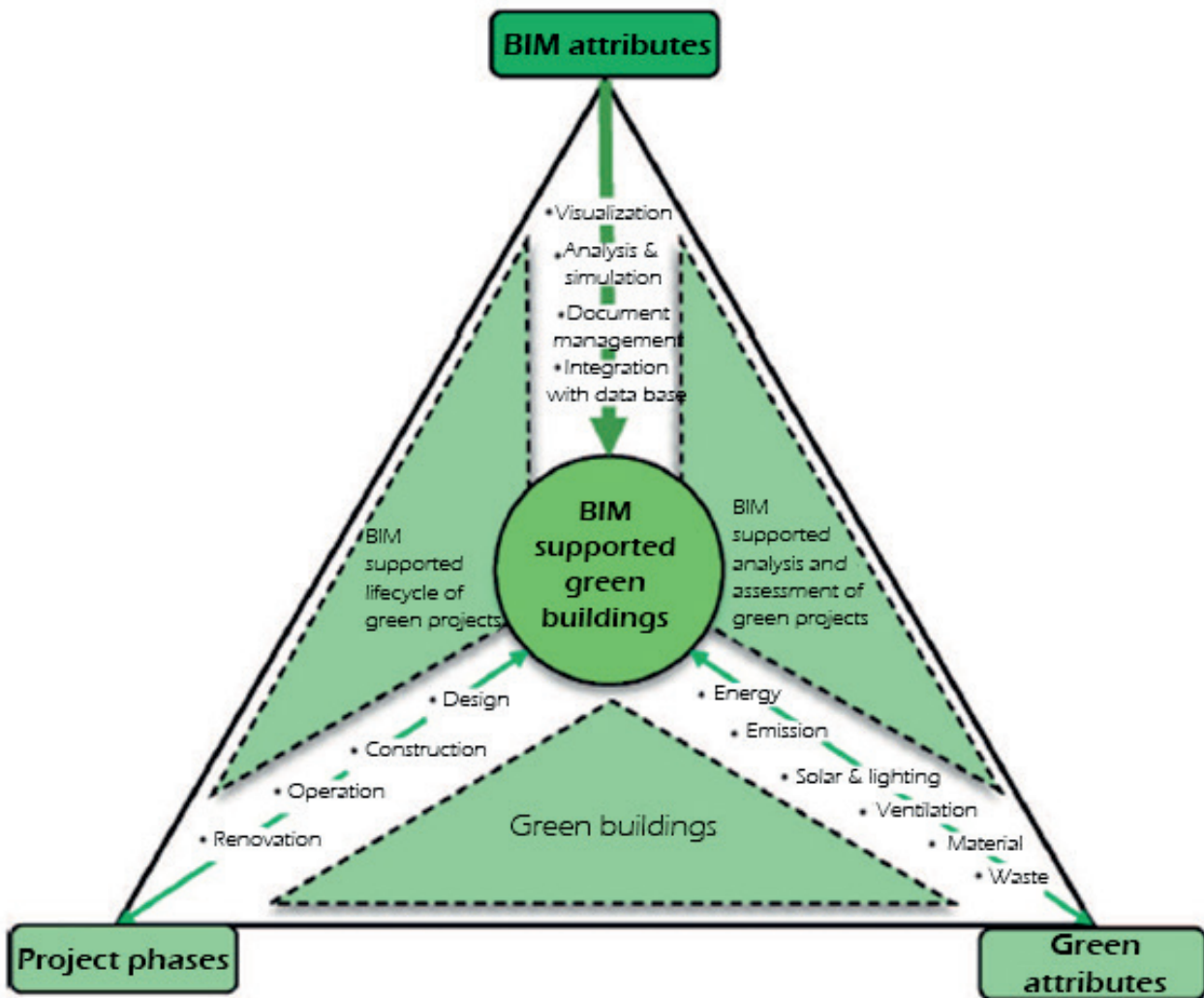


Figure 28 - Green BIM Triangle (Lu et al., 2017)

Les différentes phases proposées dans leur schéma sont la conception, la construction, la maintenance et la rénovation. Les caractéristiques du BIM prises en compte sont la visualisation, la capacité à réaliser des analyses et des simulations, la gestion de documents et l'intégration des banques de données. Quant aux caractéristiques de durabilité, six thèmes sont présentés : l'énergie, les émissions, la luminosité et l'ensoleillement, la ventilation, les matériaux et les déchets.

On peut observer que les thèmes choisis pour illustrer les caractéristiques durables sont orientés vers un aspect technique. Ils sont traduisibles en données quantifiables et mesurables. Cependant on ne retrouve pas de référence à l'aspect social, cette théorisation semble donc plutôt adaptée au traitement du pilier de la durabilité écologique. Néanmoins, nous avons vu dans le chapitre 2 qu'il existait une démarche permettant d'évaluer les aspects liés au bien-être dans un projet. L'une des propositions du Green BIM Triangle étant d'utiliser le BIM pour réaliser des évaluations de projets, la thématique de la durabilité semble transposable dans le concept du Green BIM Triangle. D'autre part, nous avons également vu dans une section précédente qu'il était possible de réaliser des analyses de cycle de vie orientées vers les aspects sociaux. Nous pouvons donc également supposer une transposition de la thématique sociale dans cette branche.

### 3.2.2.1 Assistance dans l'évaluation environnementale des projets

L'utilisation des processus BIM pour évaluer le caractère durable des bâtiments est une pratique qui s'installe depuis quelques années, mais il n'existe pas encore de procédure officielle sur la manière de procéder. Par conséquent, jusqu'à récemment on observait un faible champ de connaissance sur le sujet dans la littérature (Carvalho et al., 2020). Cependant, il est tout de même admis que le BIM représente une opportunité d'améliorer les projets s'il est utilisé pour réaliser des évaluations dès la phase de conception :

*« Having a tool able to calculate and manage criteria since the early design stages allows for a better and more sustainable design based on the three pillars of environment, economic and social key issues, with the possibility of dynamically assess multiple scenarios, getting better results during building construction and operation; same could be done in case of a refurbishment or major maintenance operations. » (Maltese et al., 2017, p. 528)*

A l'échelle internationale, les deux méthodes d'évaluation de la durabilité des bâtiments les plus connues sont LEED et BREEAM. On observe dans ces deux approches que les critères les plus exploités à travers les processus BIM sont l'énergie et les matériaux, qui sont des critères régulièrement mis en avant lorsqu'il est question de durabilité dans la construction (Carvalho et al., 2020).

Cependant, on y trouve également la possibilité d'évaluer la santé et le bien-être, « Health & Wellbeing » étant même le nom d'un critère d'évaluation utilisé par le système BREEAM. Inti Salgueiro et Bernard Ferries, dans une étude réalisée en 2015, mettent en évidence des critères issus des systèmes d'évaluation LEED et BREEAM qui sont traitables avec des processus BIM en phase de conception. Ils relèvent au total dix critères et observent dans le système BREEAM un critère lié à la santé, en particulier à la qualité intérieure de l'air, ainsi qu'un critère lié au confort visuel. Ce deuxième critère a un équivalent dans le système LEED, qui correspond à la question des vues et de la lumière naturelle (Salgueiro & Ferries, 2015).

Par ailleurs, Rodger Edwards et al. relèvent que ces outils d'évaluation sont le plus souvent utilisés lorsque la conception du bâtiment est terminée. Leur potentiel à être utilisés pour optimiser le processus d'aide à la décision lors de la phase de développement de la conception n'est alors pas réellement exploité dans les pratiques de terrain des concepteurs (Edwards et al., 2019).

### 3.2.2.2 Simulation et calcul des performances environnementales

Les thématiques les plus populaires en termes d'emploi du BIM pour optimiser la durabilité des projets sont celles de l'analyse des performances énergétiques en phase de conception, ainsi que celles de l'estimation et la visualisation des émissions carbone dans le but de mieux contrôler l'empreinte carbone des projets (Wong & Zhou, 2015).

Le concepteur peut alors réaliser plusieurs simulations et orienter ses choix de conception en fonction des résultats obtenus. Cependant, les concepteurs peuvent être freinés dans l'emploi de ces simulations à cette étape du projet, car mettre en œuvre ce travail de simulation et interpréter leurs résultats demande des compétences poussées, tout en prenant un certain temps, bien que ce temps se réduise de plus en plus grâce à l'amélioration des performances du matériel informatique (Edwards et al., 2019).

Cependant, les simulations sont réalisées sur base des données encodées. Il est donc particulièrement important d'être rigoureux lors de l'encodage de ces données, sous peine de fausser les simulations et calculs de performance. Dans ce contexte, ces résultats doivent être observés avec une approche critique, et la personne qui les interprète ne doit pas se laisser abuser par sa foi dans l'efficacité des simulations numériques et des outils numériques en général, compte tenu du fait que les données sont initialement encodées par un être humain susceptible d'être à l'origine d'une erreur.

*« It should never be forgotten that no matter how advanced simulation tools are, they can only produce predictions as opposed to absolute truths. The simulation predictions cannot and should not be blindly relied on as the different elements and materials in the model can in reality be affected by unforeseen issues. » (Edwards et al., 2019, p. 5)*

### 3.2.2.3 Etude du cycle de vie des bâtiments

Dans leur étude, Yujie Lu et al. démontrent que le BIM peut être utilisé dans l'analyse du cycle de vie des bâtiments de diverses manières, et à plusieurs étapes du cycle de vie (Figure 29) (Lu et al., 2017). Les usages recensés dans la phase de conception sont liés aux échanges de données et à leur intégration, à la visualisation des résultats d'analyses de performances ou de simulations, et à l'évaluation des différentes alternatives de conception.

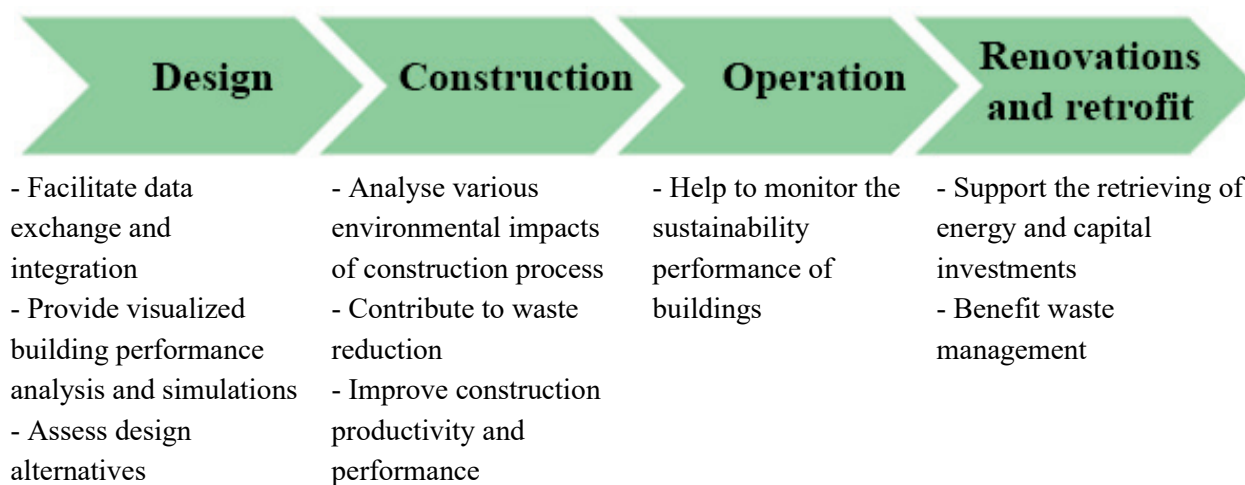


Figure 29 - Le cycle de vie des projets durables, soutenu par les processus BIM (Lu et al., 2017)

Dans une méta-analyse, Johnny Wong et Jason Zhou en 2015 ont étudié le contenu de 84 articles afin de faire un état des lieux de l'emploi du BIM dans les pratiques durables. A travers ce travail, ils ont pu identifier que les recherches actuelles portant sur l'amélioration de la durabilité des projets grâce au BIM étaient majoritairement orientées vers l'utilité du BIM en phase de conception (52% des articles étudiés lors de leur méta-analyse) et en phase de construction (29% des articles étudiés lors de la méta-analyse). Les phases de maintenance et rénovation, et de démolition, respectivement 9% et 14% des articles étudiés, sont beaucoup moins explorées dans la littérature (Wong & Zhou, 2015).

Les orientations majeures qu'ils identifient comme ayant le plus de potentiel sont l'intégration du concept des 3 R : « Réduire, Réutiliser, Recycler », l'intégration du BIM dans les procédures de

maintenance, le développement d'un outil BIM visant la certification des bâtiments durables, l'amélioration de l'ergonomie et la convivialité des outils BIM, et l'augmentation des collaborations entre chercheurs et praticiens dans les études menées sur le BIM et la durabilité, en particulier dans les domaines d'étude de la réduction des émissions de gaz à effet de serre et des émissions de carbone. Leur approche prospective est donc principalement centrée sur les aspects liés au pilier écologique. En effet, la mention de la convivialité des outils a surtout pour but d'inciter de nouveaux acteurs de la construction à utiliser les processus BIM dans leurs projets.

### 3.3 Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, nous avons pu observer que l'étude des usages passe par l'étude de l'utilité d'une technologie face à un objectif déterminé, ainsi que par l'acceptation sociale des futurs utilisateurs de cette technologie et l'utilisabilité de cette dernière (Terrade et al., 2010). Nous avons également constaté que les usages BIM permettent aux acteurs de la construction de choisir la procédure à mettre en place pour atteindre les objectifs fixés. Ces usages peuvent être classés par thème ou par phase du projet, et de nombreuses listes d'usages existent. Certains de ces usages peuvent servir un objectif en lien avec la durabilité des projets. Ce type d'objectif est nommé « Green BIM » (Lu et al., 2017).

On peut observer que le concept de Green BIM propose trois pistes d'actions pour améliorer la durabilité des projets avec le BIM : l'assistance dans l'évaluation environnementale des projets, la simulation et le calcul de leurs performances environnementales, et l'étude du cycle de vie. Cependant, on constate également que si le potentiel existe, il n'en est pas pour autant exploité à son maximum. En effet, l'utilisation des méthodes nécessite à la fois d'accepter d'y consacrer du temps et d'avoir les compétences nécessaires pour en interpréter les résultats. Ces deux éléments peuvent représenter des freins pour les concepteurs.

De plus, ces approches favorisent la prise en compte de la durabilité écologique des projets, en particulier en ce qui concerne les matériaux et l'énergie, mais abordent relativement peu les critères de durabilité sociale. En effet, certains critères liés à la durabilité sociale peuvent être pris en compte, tels que les vues, le confort thermique, ou encore la lumière naturelle, mais ces critères ne sont pas les plus représentés dans les recherches liant BIM et durabilité.

Ces observations nous ont amené à nous questionner sur les usages BIM dans un contexte de durabilité sociale, et donc à explorer de quelle manière le BIM peut être utile à la poursuite d'un objectif visant à améliorer la durabilité sociale des projets. C'est ce que nous étudions dans le chapitre suivant.



## CHAPITRE 4 : ÉTUDE DE L'UTILITÉ DES USAGES BIM FAVORISANT LA PRISE EN COMPTE DE LA DURABILITÉ SOCIALE DANS LES PROJETS D'ARCHITECTURE

Nous avons vu dans la section précédente que le BIM est efficace pour optimiser des données. Le concept de Green BIM permet de démontrer que dans le traitement de la durabilité, le BIM est performant pour évaluer la qualité environnementale en suivant une grille de critères, pour simuler et calculer des performances environnementales, ainsi que pour étudier les cycles de vie des bâtiments. Cependant, nous avons également vu que la durabilité sociale s'aborde à travers des concepts sensibles, abstraits, tels que le bien-être ou le confort. Cette dualité nous amène à nous questionner sur la possibilité d'utiliser des outils BIM pour intégrer le traitement de facteurs favorisant la durabilité sociale des projets.

Dans une méta-analyse publiée en 2019 et basée sur l'analyse de 317 articles publiés entre 2008 et 2017, Ruben Santos et al. font l'état des lieux du rôle du BIM dans la construction durable. Pour cela, ils recourent des publications concernant les différents usages possibles du BIM entraînant une amélioration de la durabilité des projets et classent leurs résultats selon les trois piliers du développement durable. La suite de notre travail s'appuie sur cette recherche, qui a suivi une méthodologie rigoureuse et exhaustive pour élaborer une synthèse des articles dont le sujet porte sur les interactions entre le BIM et la durabilité. La méthodologie mise en place propose sept étapes de travail, décrites dans le tableau ci-dessous (Tableau 14).

Numéro de la phase d'analyse	Description des phases d'analyse	Résultats
1	Recherche de publications scientifiques sur la plateforme Web of Science à l'aide d'un ensemble de mots-clés, sur la base des dimensions de la durabilité et des concepts connexes	Identification de 2088 travaux
2	Exclusion des doublons	Exclusion de 535 doublons
3	Analyse du contenu des résumés et des textes intégraux des articles	Analyse de 1553 travaux
4	Exclusion des articles qui ne portent pas sur le sujet	Exclusion de 1236 travaux
5	Catégorisation de la littérature en fonction des dimensions de la durabilité	Analyse de 317 travaux
6	Analyse informétrique de la littérature	
7	Analyse critique de la littérature en fonction des catégories définies	

Tableau 14 - Description des phases d'analyse de la recherche menée par (Santos et al., 2018)

Dans la section traitant des usages BIM améliorant la durabilité sociale, les auteurs identifient quatre catégories phare : la sécurité, le confort des usagers, l'apprentissage et le patrimoine culturel. Cependant, ils confirment dans cette étude que les aspects sociaux ne sont pas souvent pris en compte dans les recherches sur le BIM et la durabilité (Santos et al., 2019).

Les usages repérés dans cette étude se situent dans une ou plusieurs phases du projet, selon la thématique abordée. Nous détaillons ces quatre thématiques et les usages associés dans les sections ci-dessous. Il n'existe pas d'ordre d'importance permettant de classer ces thématiques les unes par rapport aux autres d'un point de vue social. Cependant, Ruben Santos et al. relèvent que la thématique de la sécurité concerne un nombre d'articles publiés conséquent au regard des publications liées aux autres thématiques. Il s'agit d'ailleurs d'une thématique que nous avons déjà relevée dans le chapitre précédent, dans la liste des usages BIM proposés dans le guide de l'Université de Harvard (Harvard University, 2013).

## 4.1 Sécurité

Parmi les critères de durabilité sociale relevés comme étant optimisables avec le BIM, celui de la sécurité est dévoilé comme étant le plus représenté dans la littérature (Santos et al., 2019). En effet, la sécurité est une thématique à laquelle on apporte beaucoup d'attention dans le secteur du BIM, puisque celle-ci correspond à une des dimensions du BIM : le BIM 4D (Botrugno et al., 2022). Plusieurs usages sont possibles pour améliorer la sécurité des projets. Ils sont soit orientés vers la sécurité des ouvriers travaillant sur chantier, soit vers la sécurité des usagers qui occupent le bâtiment en phase d'exploitation. Ces usages font appel à plusieurs facettes du BIM.

Le premier usage possible que nous abordons est celui de l'identification des risques et causes d'accidents fréquents à travers l'utilisation des données des précédents chantiers. En effet, il est courant dans le secteur de la construction d'évaluer les risques à partir d'une expérience personnelle, ce qui est limitant aux expériences vécues, alors que le BIM offre la possibilité de prendre des décisions sur base de données objectives et empiriques (Tixier et al., 2017). Cet usage est majoritairement lié à la facette « banque de données » du BIM. De plus, la maquette numérique permet aux concepteurs de visualiser les conditions du travail sur chantier, et par conséquent d'évaluer et identifier les dangers potentiels avant le début de la construction du projet : obstacles aériens, chutes d'objets, emplacements des entrées, protection contre les chutes, ... (Figure 30) (Azhar, 2017).

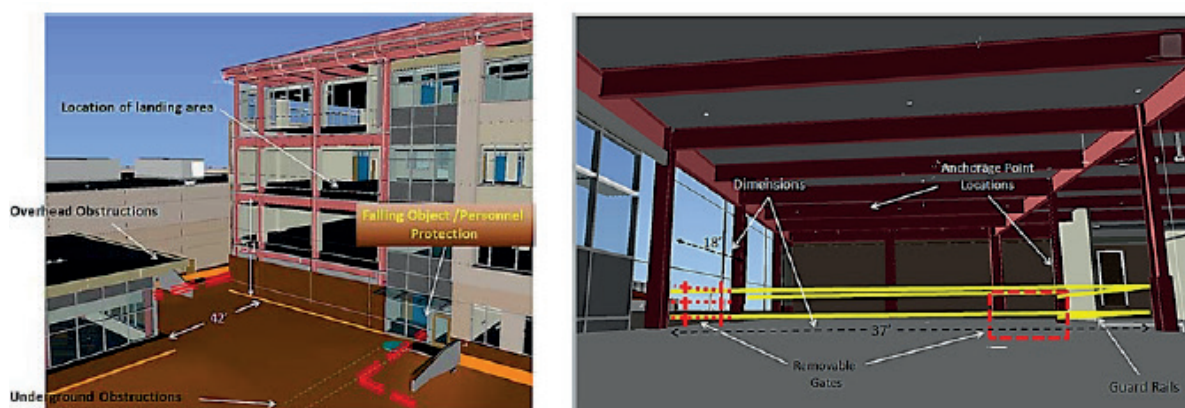


Figure 30 - Utilisation d'un modèle BIM pour visualiser les dangers potentiels sur site (Azhar, 2017)

Ces simulations permettent alors de faire une vérification des règles de sécurité, notamment par automatisation et détection de clash :

*« In early phases, attributes could be assigned to physical elements and spaces in BIM, and the system, in turn, could automatically detect and flag safety clashes. For example, a designer would be able to identify and assign upstream attributes (i.e., those identifiable in design such as steel sections or crane) and the BIM system could then provide two useful pieces of information: (1) which clashes exist at a particular time and location based on the upstream attributes alone, and (2) the transitional and downstream attributes to which the situation is vulnerable » (Tixier et al., 2017, p. 53)*

Un autre usage identifié est celui de l'estimation des coûts des équipements de sécurité, notamment des échafaudages utilisés sur le chantier. En effet, on observe que les équipements de sécurité temporaires tels que les échafaudages sont rarement dessinés dans les maquettes numériques BIM, et ces éléments sont souvent omis des analyses de sécurité, ce qui entraîne un risque de sécurité en phase chantier qui pourrait être anticipé en phase de conception (K. Kim et al., 2016).

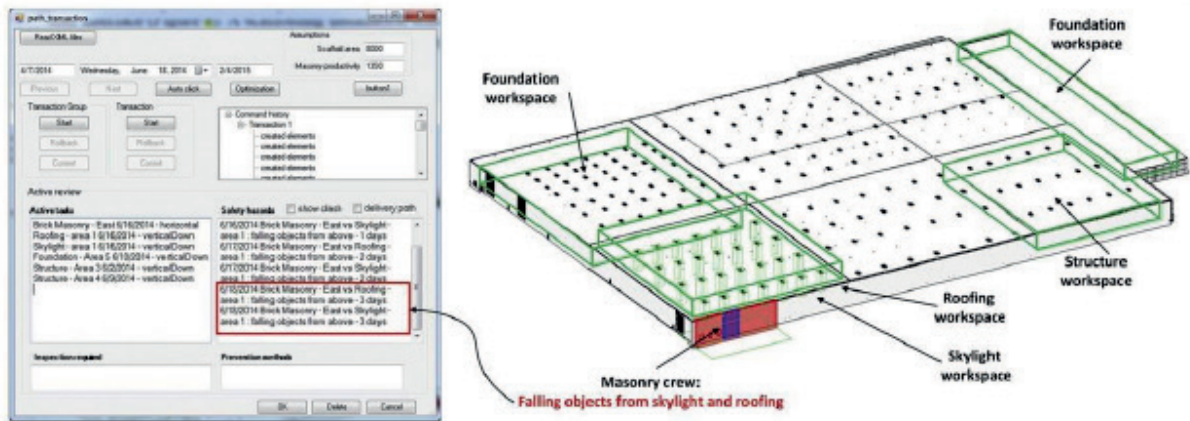


Figure 31 - Interface utilisateur et visualisation des risques et des conditions sur site (K. Kim et al., 2016)

Il est par exemple possible d'identifier les risques de chute d'objets engendrés par les activités d'installation de la toiture, encourus par les équipes de maçonnerie travaillant sur les échafaudages. Cela est rendu possible par l'identification des zones de travail de chaque équipe et leur évolution au cours du temps (Figure 31). Sur la figure 31, les différents espaces de travail qui co-existeront en phase chantier sont représentés par les parallélépipèdes verts, et les échafaudages sont représentés par la zone rouge, tandis que la zone en violet représente la zone de travail des maçons pour un jour précis.

Un autre usage possible est celui de la localisation sur le chantier en temps réel, à la fois des ouvriers et des équipements. Pour cela, il est possible d'utiliser des capteurs dans les casques des ouvriers (Figure 32) (Fang et al., 2016).

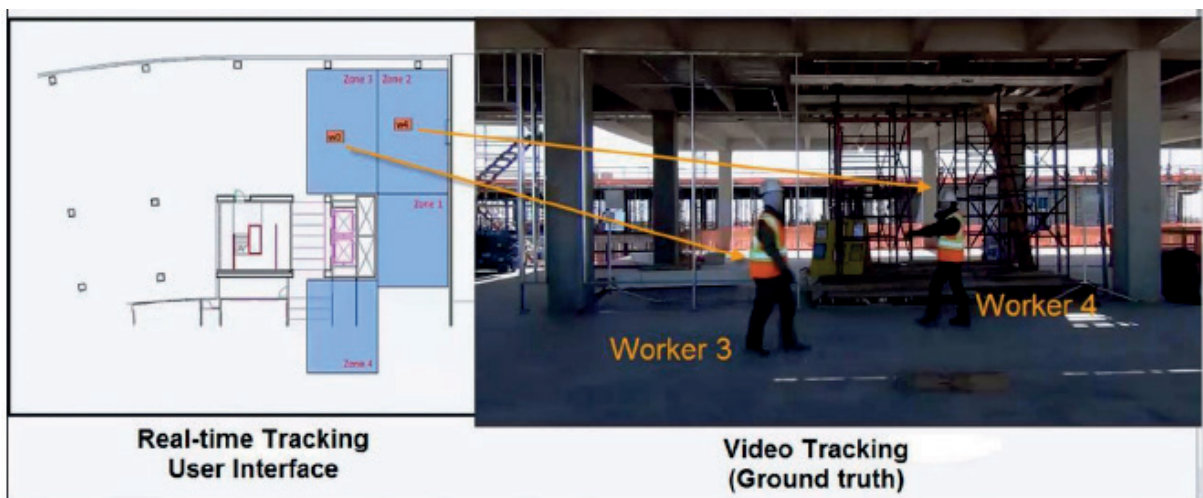


Figure 32 - Comparaison de la localisation en temps réel dans la maquette BIM et de la localisation par vidéo-surveillance (Fang et al., 2016)

L'utilisation de capteurs a également été expérimentée par une équipe de chercheurs menée par Charles M. Eastman. Ces derniers ont développé de nouveaux algorithmes dont le but est d'utiliser les données de localisation envoyées par les capteurs placés dans les casques des ouvriers. Ils ont ensuite utilisé la maquette numérique BIM pour visualiser la position des ouvriers et détecter les conflits potentiels, que ce soit avec d'autres équipes d'ouvriers ou avec des équipements de levage des matériaux (S. Zhang et al., 2015). A partir de ces simulations, il est également possible d'identifier la proximité, et donc les conflits horaires, entre équipes ou équipements lourds (Golovina et al., 2016), ou encore de visualiser les espaces de sécurité requis pour manipuler les équipements (Teizer, 2016). Les progrès récents du domaine de l'intelligence artificielle révèlent un potentiel intéressant dans la détection du danger à travers des processus de deep learning (Benkedadra et al., 2023).

Enfin, il est également possible d'utiliser les processus BIM pour la gestion des interventions en cas d'incendie (Isikdag et al., 2008). Par exemple, en simulant la position des camions-échelles afin d'identifier le meilleur positionnement sur site, ou en intégrant dans la maquette numérique les hydrants et autres équipements de lutte contre l'incendie, ou encore en identifiant sur la maquette le chemin le plus court pour atteindre le lieu de l'incident (Chen et al., 2014). De plus, la maquette peut aussi être utilisée comme outil de prévention en étant le support de l'entraînement et la formation des usagers aux règles de sécurité, comme l'ont démontré Ruppel et Schatz via un serious game intégré au BIM. Cette étude explore le comportement des usagers en cas d'évacuation à l'aide de différents scénarios d'incidents (Rüppel & Schatz, 2011).

De ce premier critère qu'est la sécurité, nous relevons donc neuf possibilités d'interactions avec le BIM (Tableau 15). Ces usages concernent majoritairement la sécurité des ouvriers œuvrant sur le chantier en phase de construction, mais également la sécurité des usagers et du personnel chargé de la maintenance en phase d'exploitation.

Catégorie d'usage	Usages BIM
Sécurité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation des données de précédents chantiers pour identifier les risques et accidents fréquents</li> <li>- Vérification des règles de sécurité</li> <li>- Estimation du coût des équipements de sécurité</li> <li>- Localisation sur le chantier en temps réel des ouvriers et des équipements</li> <li>- Utilisation de capteurs dans les casques des ouvriers</li> <li>- Visualisation des espaces de sécurité requis pour manipuler les équipements</li> <li>- Identification des conflits horaires entre équipes ou équipements lourds</li> <li>- Gestion des interventions en cas d'incendie</li> <li>- Entraînement et formation des usagers aux règles de sécurité</li> </ul>

Tableau 15 - Usages BIM pour le critère de la sécurité

## 4.2 Confort des usagers

La méta-analyse de Ruben Santos et al. révèle également le critère du confort des usagers comme étant exploitable avec les processus BIM, notamment via sa capacité à vérifier la correspondance du projet avec les référentiels de performance (Santos et al., 2019). Le confort se définit par des qualités physiques affectant les sensations ressenties dans un environnement par un usager. Ces caractéristiques sont le confort hygrométrique, le confort thermique, le confort lié à la ventilation, le confort acoustique, le confort de luminosité et le confort lié à la qualité de l'air (Gâteau, 2018). Ces éléments correspondent à des besoins physiologiques, et sont également les plus aisés à mesurer via des capteurs (Figure 33).

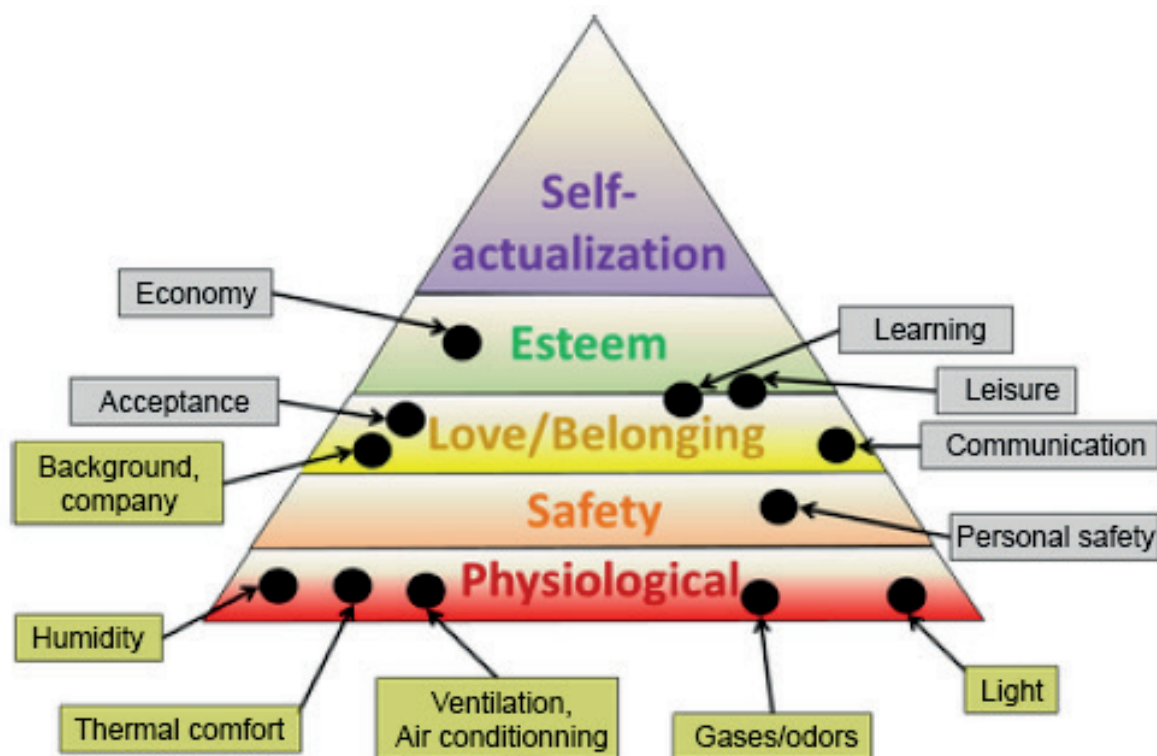


Figure 33 - Hiérarchie des besoins selon la pyramide de Maslow (Gâteau et al., 2016)

Les processus BIM permettent de collecter les données liées à l'occupation du bâtiment en utilisant des capteurs pouvant contrôler les consommations en temps réel : énergie, occupation, éclairage, température, ... Ces données permettent premièrement d'influencer les prises de décision dans la gestion du bâtiment quant aux usages réels des différentes fonctions du bâtiment, deuxièmement d'avoir une vision à long terme sur l'activité économique liée à la maintenance et la performance du bâtiment, et troisièmement, à plus grande échelle, l'analyse de ces données permet de faire évoluer les connaissances des concepteurs et d'augmenter la précision des outils de simulation (Gurevich et al., 2017).

Un autre facteur qui est régulièrement étudié est celui du taux d'ensoleillement (Figure 34). En effet, nous avons vu dans le chapitre 2, abordant la définition de l'architecture durable, que les variations de sensorialité, y compris en ce qui concerne la lumière du jour, est un facteur contribuant au bien-être des usagers (Heerwagen, 2006). Ce sujet est particulièrement étudié car il est directement en lien avec la performance énergétique du bâtiment : une conception efficace accordant une attention particulière aux données d'ensoleillement permet d'observer une économie

d'énergie allant jusqu'à 13%, en agissant uniquement sur la part d'ensoleillement (Montiel-Santiago et al., 2020).

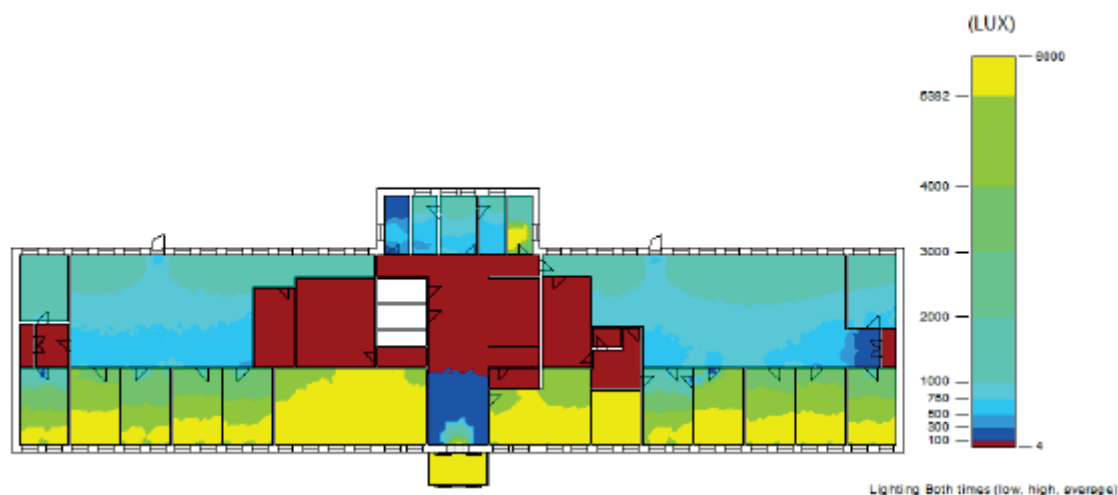


Figure 34 - Simulation de l'ensoleillement des pièces à partir de Revit Insight (Montiel-Santiago et al., 2020)

En outre, la lumière du jour, en plus d'impacter la performance énergétique du bâtiment, impacte également la performance de ses occupants, à la fois dans leur travail (Turan et al., 2020) et dans leur convalescence (Ulrich et al., 2008). Il s'agit donc d'un enjeu qui peut rencontrer les intérêts du client en plus de ceux des usagers, en particulier dans les immeubles de bureaux ou dans les hôpitaux. L'emploi du BIM dans les études d'ensoleillement représente un outil d'aide à la décision, et permet de choisir la typologie de plan idéale en fonction de la situation d'ensoleillement (Majeed et al., 2019).

La notion de confort est également liée au confort fonctionnel (Vischer, 2008). Afin d'améliorer ce dernier, le BIM peut être utilisé dans l'identification des causes d'inconfort relatives à l'agencement des espaces, ce que Ozgur Göçer et al. ont démontré en combinant des cartographies spatiales et des feedbacks réalisés auprès des usagers (Göçer et al., 2015).

*« Spatial mapping makes it possible to identify the reasons for occupant discomfort and dissatisfactory performance measurements more intuitively and potentially makes it easier to establish a communication platform for design stakeholders to engage them in the collaborative effort of continuous building performance improvement. » (Göçer et al., 2015, p. 22)*

Le monitoring de la production d'électricité et de chauffage est également un usage identifié comme étant exploitable à la fois avec le BIM et pour l'amélioration du confort des usagers. Cet usage est habituellement utilisé par le concepteur ou le client dans la gestion des énergies, de manière anticipative dans la phase de conception ou pour la gestion dans la phase de maintenance (Habibi, 2017). Entre ces deux phases, les acteurs impliqués divergent. En effet, la maintenance débute dès le commencement de la phase d'exploitation, qui correspond au moment où l'utilisateur prend possession des lieux. Cela implique qu'à partir de ce moment, l'utilisateur a le potentiel de jouer un rôle dans la maintenance du bâtiment, notamment pour signaler des pannes ou autres incidents. Or si le contrôle des usagers sur leur environnement contribue à leur bien-être, les intégrer dans la gestion des énergies peut contribuer à ce bien-être. Pourtant, on peut observer d'une part que les occupants sont souvent exclus des processus de prise de décision (Reychav et al., 2017), et d'autre part que faire peser sur les usagers la responsabilité entière de leur confort peut au contraire

provoquer un sentiment de perte de contrôle (Heerwagen, 2006). Ils doivent donc être accompagnés dans ce processus, d'autant plus que les usagers ne sont pas toujours conscients de la manière dont leurs habitudes peuvent influencer leur consommation d'énergie. Sans compter que l'influence du comportement des usagers selon leur profil (âge, revenu, genre) sur la performance énergétique n'est pas aisé à caractériser avec précision (Pan et al., 2017), il sera donc difficile d'anticiper des consommations selon le profil des usagers. Dès lors, ces derniers doivent pouvoir être formés de sorte qu'ils puissent comprendre les règles régissant le fonctionnement de leur bâtiment (Gournet & Beslay, 2015; Quentin et al., 2017). De cette manière, ils pourront communiquer leurs besoins de manière plus efficace.

Ce genre de caractéristiques liées au confort, quel qu'il soit, peuvent être intégrées via des plugins et sont donc assez flexibles. Climate Studio (Figure 35), plugin pour Rhinoceros, en est un bon exemple, puisqu'il rassemble le traitement de l'efficacité énergétique, du confort visuel et thermique, la simulation de l'éclairage et d'autres éléments en lien avec la santé des occupants du bâtiment (Solemna, 2023).

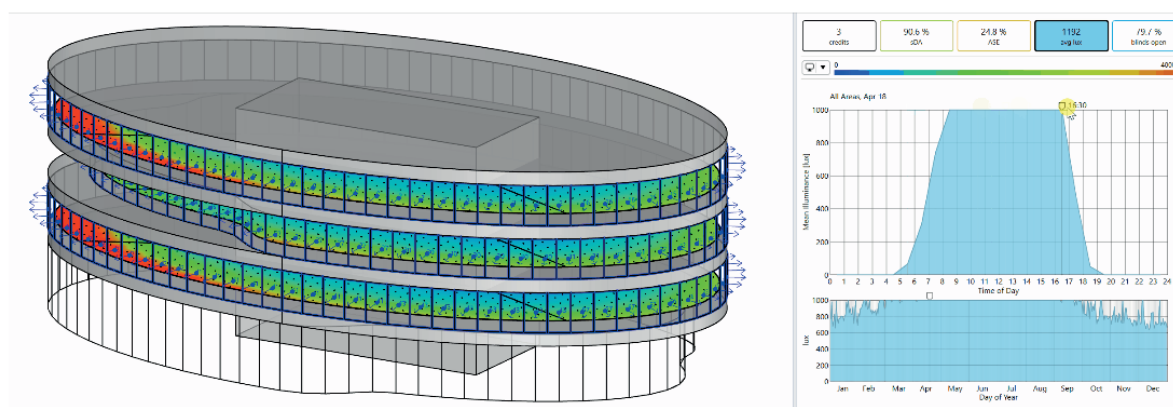


Figure 35 - Simulation de l'ensoleillement selon le jour et l'heure par Climate Studio (Solemna, 2023)

Enfin, le dernier usage identifié dans cette section est celui de l'estimation des coûts liés à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers. Cela concerne aussi bien les coûts liés à la sécurité (J. P. Zhang & Hu, 2011), les coûts nécessaires à l'amélioration du confort (K. P. Kim & Park, 2016) ou l'estimation des coûts liés à la rentabilité de la performance énergétique (Woo et al., 2016). Cet usage est directement relié au pilier de la durabilité économique, ce qui en fait une caractéristique dépendante comme expliqué dans le chapitre 2 traitant de la définition de la durabilité sociale. Les acteurs concernés sont principalement les clients, mais également les usagers, même lorsque ceux-ci ne sont pas les financeurs du projet. En effet, l'investissement réalisé dans les performances énergétiques du bâtiment permet de diminuer les factures des consommations énergétiques pour les locataires.



En conclusion, nous identifions cinq usages BIM améliorant le confort des usagers (Tableau 16). Ces usages sont applicables soit en phase de conception, pour anticiper les besoins des usagers, soit en phase d'exploitation pour assurer la maintenance du niveau de qualité offert aux usagers. L'acteur sur lequel se centrent ces différents usages BIM est donc l'utilisateur du projet. Il est important de noter que cet acteur est souvent moins pris en compte dans les recherches portant sur le BIM, ces dernières se tournant plus souvent vers les concepteurs, les clients, ou les entreprises de construction (Gurevich et al., 2017). Cela peut s'expliquer par le fait que le BIM, en tant qu'outil d'aide à la décision, correspond au type de technologie que les organisations adoptent de manière à promouvoir les intérêts déjà en place, avant les intérêts des usagers qui bénéficieront du résultat fini (Box, 2005).

Catégorie d'usage	Usages BIM
Confort des usagers	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Collecte des données liées à l'occupation du bâtiment</li> <li>- Simulation de l'éclairage naturel</li> <li>- Identification des causes d'inconfort liées à l'agencement des espaces</li> <li>- Monitoring de la production d'électricité et de chauffage</li> <li>- Estimation des coûts liés à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers</li> </ul>

Tableau 16 - Usages BIM pour le critère du confort des usagers

### 4.3 Processus d'apprentissage pour les étudiants et les professionnels de la construction

La thématique de l'apprentissage concerne à la fois l'apprentissage développé par les étudiants au cours de leurs études, et l'apprentissage en cours de carrière des professionnels de la construction. Il s'agit d'une thématique de durabilité sociale qui est considérée comme non physique (Dempsey et al., 2009) et intangible (Vallance et al., 2011).

L'une des plus-values de l'intégration du BIM dans les dispositifs d'apprentissage réside dans la capacité des processus BIM à réaliser des simulations qui peuvent être exprimées de manière visuelle. Cette combinaison crée un environnement interactif, dans lequel l'apprenant peut expérimenter tout en visualisant les conséquences de ses choix. De cette manière, le style d'apprentissage kinesthésique, qui correspond à l'apprentissage par le faire, peut être valorisé (Meadati & Irizarry, 2010) de la même manière que les styles auditifs et visuels qui sont habituellement favorisés dans les méthodes traditionnelles.

Nous observons quatre domaines dans lesquels le BIM peut être employé en tant qu'élément clé du dispositif d'apprentissage : l'apprentissage de la collaboration, l'apprentissage des techniques de construction, la gestion des espaces et l'apprentissage de la durabilité dans la construction (André et al., 2022).

La collaboration est aujourd'hui au cœur des métiers de la construction. Cependant, collaborer implique l'intégration de facteurs humains tels que la communication, la confrontation de différentes méthodes de travail propres à chacun, ou la réalisation parallèle d'enjeux variables selon chaque acteur. Dès lors, apprendre à collaborer peut s'avérer être une compétence précieuse. Or, l'emploi du BIM pendant la phase d'apprentissage, notamment dans le cadre d'une conception coopérative, permet de générer chez les étudiants une prise de recul sur les outils numériques (Gallas & Halin, 2016). De plus, intégrer le BIM en tant qu'outil de collaboration aide les étudiants à mieux comprendre les flux de communication et de circulation de l'information dans les projets utilisant les processus BIM.

*« Today, we need future professionals to be able to create, read and understand the structure of the data contained in semantic models. The only way to face current challenges, such as energy management, circular economy, carbon footprint reduction, etc., is to digitize both existing and future assets. » (Gallas et al., 2023, p. 372)*

Les étudiants peuvent également mieux appréhender d'une part la transversalité des pratiques BIM, et d'autre part les jeux d'acteurs en place dans les projets (Khainnar, 2018). De ce fait, l'emploi du BIM dans les dispositifs d'apprentissage est un outil stimulant les démarches de collaboration chez les étudiants.

En ce qui concerne les techniques de construction, on observe une difficulté de la part des apprenants à faire le choix d'un système structurel qui soit adapté à la situation rencontrée, alors même qu'ils ont connaissance des différents systèmes existants (Mokhtar, 2007). Lors de l'apprentissage des techniques de construction, plusieurs approches sont possibles : supports visuels, visites de chantiers, workshop, ... Ces méthodes sont la plupart du temps organisées autour de schémas en deux dimensions, photos, maquettes physiques, et plus récemment, maquettes numériques (Figure 36).



Figure 36 - Illustration des méthodes d'apprentissage des structures à travers A : schémas en deux dimensions, B : photos, maquettes physiques et C : maquettes numériques (Clevenger et al., 2012)

La maquette numérique présente, par rapport à d'autres méthodes, l'avantage d'être disponible à tout moment pour l'apprenant. En effet, elle peut être consultée et manipulée à domicile, sans autre matériel nécessaire que l'ordinateur et le logiciel ou viewer approprié. De plus, elle peut être utilisée pour tester et comparer différents choix constructifs (Marcos, 2017), ce qui peut aider à la compréhension des enjeux de leur mise en œuvre, en incitant l'étudiant à faire des choix concrets et à explorer les connexions entre les éléments de structure (Mokhtar, 2007).

La gestion des espaces fait partie intégrante de la formation des concepteurs. Le processus de conception se caractérise par une évolution d'un concept abstrait, non-structuré, vers un résultat détaillé et structuré (Silvestri, 2009). Cela implique que le niveau de détail des représentations du projet évolue dans le temps, vers un état de plus en plus détaillé. Alors que la maquette physique nécessite d'être recommencée pour être adaptée à une autre échelle de détail, la maquette numérique peut être progressivement complétée, l'utilisateur pouvant choisir le niveau de détail approprié à la phase en cours.

Enfin, le BIM trouve également son utilité dans l'apprentissage des principes de construction durable. Cette approche est particulièrement pertinente, du fait qu'elle est alignée avec une demande réelle des acteurs de la construction de développer des compétences liant durabilité et numérique (J. Zhang et al., 2016). L'emploi du BIM couplé à des outils d'analyse énergétique aide l'apprenant à mieux comprendre les mécanismes de consommation énergétique dans les bâtiments (Shen et al., 2012), tout comme coupler BIM et système de certification permet d'augmenter la compréhension du fonctionnement des outils de certification (Luo & Wu, 2015). Il est également possible d'apprendre le fonctionnement de la circularité avec le BIM, par exemple en modélisant des matériaux de réemploi pour tester les différentes possibilités liées à leur démontage et leur réemploi, ou encore au détournement de leur usage initial (Dautremont & Jancart, 2020).

Cependant, il est important de noter que l'utilisation du BIM en tant qu'outil pédagogique se heurte parfois à certaines résistances. En effet, une partie des professeurs en école d'architecture sont eux-mêmes architectes en parallèle de leurs activités d'enseignement, et sont donc sujets aux freins que rencontre l'adoption du BIM en tant que nouvel outil. Ces freins sont présents dans le secteur de la construction tant en France qu'en Belgique (Hochscheid & Halin, 2020a; Stals, 2020b). Sans compter qu'une révision du modèle pédagogique peut s'avérer nécessaire pour introduire le BIM dans les dispositifs d'enseignement (Dong, 2017; Marcos, 2017).

En conclusion, les éléments que nous identifions dans le critère de l'apprentissage via les processus BIM sont la visualisation des espaces, l'amélioration de la compréhension de l'aménagement des espaces, et l'apprentissage par simulation des principes de construction, y compris de construction durable (Tableau 17).

<b>Catégorie d'usage</b>	<b>Usages BIM</b>
Processus d'apprentissage pour les étudiants et professionnels de la construction	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visualisation des espaces</li> <li>- Amélioration de la compréhension de l'aménagement des espaces</li> <li>- Apprentissage des principes de construction durable par simulation</li> </ul>

*Tableau 17 - Usages BIM pour le critère de l'apprentissage*

## 4.4 Patrimoine culturel

L'utilisation du BIM dans le cadre du patrimoine culturel porte le nom de HBIM pour « Historical Building Information Modeling ». Le BIM, et le processus collaboratif et de partage d'informations qui l'accompagne, sont une opportunité pertinente pour le secteur des bâtiments historiques. En effet, plusieurs acteurs sont amenés à travailler autour de ces bâtiments : archéologues, archivistes, ingénieurs, architectes, historiens ... Or ces acteurs ont un champ de compétences qui sont très variées, et ont tendance à travailler séparément en manipulant des techniques et protocoles de récolte d'informations différents (Messaoudi et al., 2018). Cela peut mener à créer une dispersion des informations et un double travail sur des informations déjà exploitées par un acteur, par manque de communication. Les acteurs non-familiers du DAO et de la CAO auront besoin d'être formés afin de comprendre le potentiel porté par la technologie proposée, mais n'auront pas forcément besoin de manipuler eux-mêmes les logiciels s'ils n'ont pas de rôle dans la conception (Jordan-Palomar et al., 2018).

Le patrimoine culturel a la particularité d'être un domaine qui se focalise spécifiquement sur la phase d'exploitation et maintenance, et plus rarement sur les phases conception et construction. Ces dernières n'apparaissent que lors de rénovations plus lourdes dans un contexte de restauration du patrimoine. De plus, ces bâtiments n'ont pas été construits à partir d'un processus BIM, ce qui implique que le premier travail à accomplir si l'on souhaite utiliser ce type d'outil numérique est de réaliser un relevé du bâtiment pour le reproduire sur un support numérique. Ces relevés peuvent se faire de manière traditionnelle, à la main et au mètre. Cependant ce type de bâtiment peut également correspondre à des volumes de grandes tailles et peut démontrer une certaine complexité dans la représentation de ses détails, difficiles à reproduire manuellement et pouvant être chronophages et peu efficaces (Biagini et al., 2016).

Pour cette raison, la technologie de la photogrammétrie ou du scanner laser terrestre peuvent être employés pour réaliser le relevé de bâtiments à valeur patrimoniale. La première correspond à l'utilisation de photos prises sous différents angles de vues pour reconstituer un volume en trois dimensions (Matthews, 2008), et le second correspond à la captation de points définis par des coordonnées géométriques et traduits sous forme de nuage de points (Bennis, 2015).

*« Current BIM software is almost completely focused on new buildings and has very limited tools and pre-defined libraries for modelling existing and historic buildings. The development of reusable parametric library objects for existing and historic buildings supports modelling with high levels of detail while decreasing the modelling time. » (Dore & Murphy, 2017, p. 185)*

Ces représentations numériques pourront atteindre différents niveaux de détails, ces derniers étant décidés en fonction des besoins du concepteur (Figure 37).

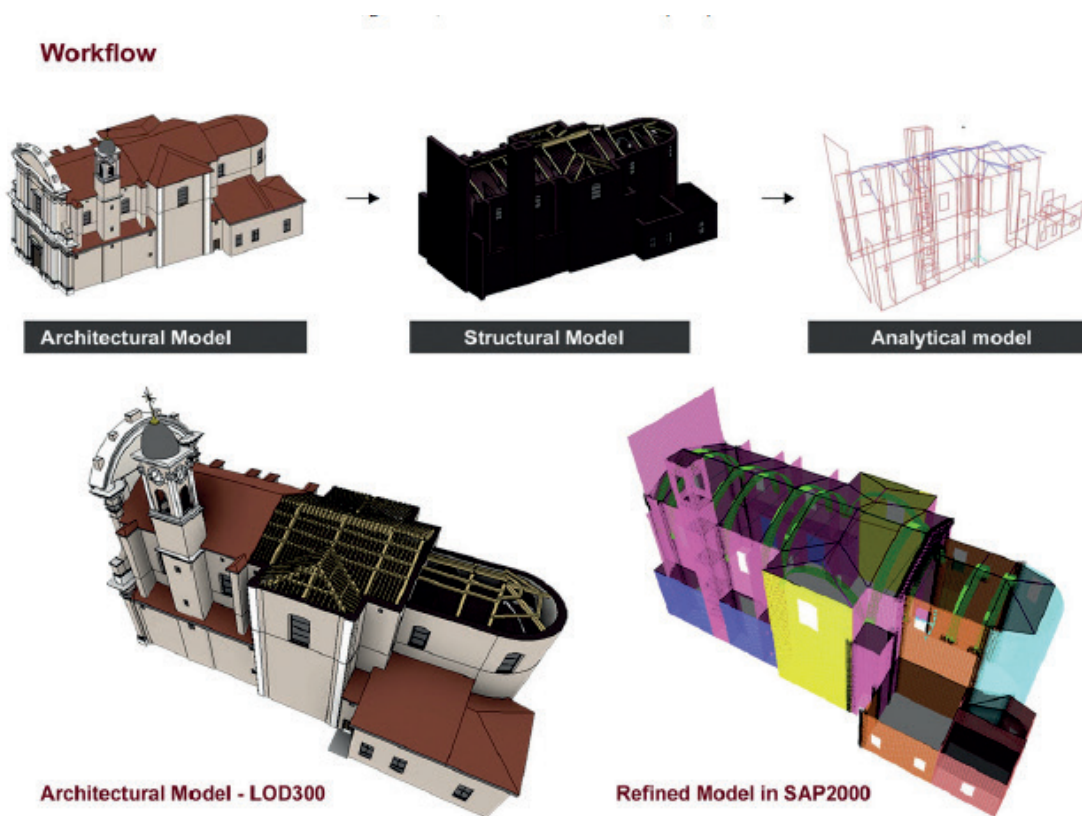


Figure 37 - Exemple d'évolution dans le niveau de détail de la représentation numérique, de la maquette Revit au modèle d'analyse structurelle – Cas de l'église Santissimo Nome di Maria, Italie (Biagini et al., 2016)

Un usage possible est donc celui de la modélisation des bâtiments à différentes époques, dans l'optique de créer des bibliothèques numériques de bâtiments historiques. Il s'agit d'une approche qui n'est pas encore implantée de manière claire, mais dans laquelle on peut voir un potentiel. En effet, deux freins rencontrés dans les processus de traitement de bâtiments patrimoniaux à travers le BIM sont la lourdeur de la procédure de restitution, due à l'absence de bibliothèque d'éléments de construction historiques (Oreni et al., 2013), et à l'augmentation de la taille des fichiers. Or le processus pourrait être plus automatisé s'il existait une bibliothèque BIM de bâtiments historiques, dans laquelle on retrouverait des informations liées à l'histoire du bâtiment, sa localisation et les caractéristiques des éléments architecturaux les plus courants (Biagini et al., 2016). Aussi, la modélisation de ces bâtiments participe à la diffusion de la culture, permettant aux citoyens de visualiser et interagir avec le modèle numérique (N. Megahed, 2015).

Cependant, les recherches liées au HBIM portent en particulier sur la surveillance, la maintenance et l'entretien des bâtiments historiques. Les bâtiments historiques possèdent quelques caractéristiques qui leur sont propres : d'une part il est fréquent d'y observer plusieurs phases de construction, qui peuvent impliquer l'emploi de plusieurs types de matériaux et techniques de construction, et d'autre part l'année de construction de ces différentes phases pouvant être relativement lointaine, ces bâtiments sont sujets à différentes pathologies telles que des fissures ou des problèmes d'humidité (Green & Dixon, 2016). Dans une étude réalisée en 2021, Ana Carolina Franco De Oliveira et al. démontrent qu'il est possible d'utiliser le HBIM pour améliorer la performance énergétique du bâtiment sur base de la détection de ces pathologies. Leur recherche, réalisée sur la faculté d'architecture de Fluminense, construite en 1888, a permis de réaliser une cartographie numérique des pathologies du bâtiment existant, qui a ensuite servi à réaliser des simulations d'isolation du bâtiment (De Oliveira et al., 2021).

Enfin, la réduction des coûts de maintenance est également un usage identifié. En effet, la conservation et la maintenance des bâtiments historiques peuvent s'avérer coûteuses à cause du manque d'efficacité dans les interventions sur ce type de bâtiment (Jordan-Palomar et al., 2018), et des différentes pathologies que nous évoquons ci-dessus.

Nous identifions donc cinq usages du BIM dans la catégorie d'usage « Patrimoine culturel » (Tableau 18). Ces usages sont axés d'une part sur la communication autour du patrimoine culturel et d'autre part sur la phase de surveillance et maintenance de ce patrimoine dans le but de faciliter sa conservation.

<b>Catégorie d'usage</b>	<b>Usages BIM</b>
Patrimoine culturel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modélisation de bâtiments à différentes époques</li> <li>- Bibliothèques numériques de bâtiments historiques</li> <li>- Surveillance des bâtiments</li> <li>- Maintenance et entretien des bâtiments</li> <li>- Réduction des coûts de maintenance</li> </ul>

*Tableau 18 - Usages BIM pour le critère du patrimoine culturel*

## 4.5 Communication

A ces critères identifiés par la méta-analyse de Santos et al., nous souhaitons ajouter un cinquième critère, celui de la communication. En effet, la communication est un élément qui revient régulièrement dans les définitions de la durabilité sociale (Doğu & Aras, 2019; Shirazi & Keivani, 2017), notamment à travers le concept de participation et d'interactions sociales (Dempsey et al., 2009; Weingaertner & Moberg, 2014). Or, nous avons vu que le processus BIM est un outil de collaboration, et donc un outil suscitant la communication. Pour ces raisons, nous avons choisi d'intégrer la communication en tant que critère à part entière de la durabilité sociale dans les pratiques BIM.

Cependant, les actions de communiquer entre experts ou avec des néophytes sont deux approches tout à fait différentes. En 2017, Cédric Aznal et Hervé Barry posent la question suivante : la transition numérique du bâtiment concerne-t-elle tous les acteurs du processus de construction, ou est-ce qu'elle exclut les acteurs « occupants », voire concerne uniquement les acteurs intervenant en phase de construction (Aznal & Barry, 2017) ? Selon leur point de vue, la question se justifie par le fait que le BIM présente un intérêt surtout en phase de construction. Pour différencier ces deux types d'acteurs nous avons choisi de scinder le critère de la communication en deux parties : d'une part la communication avec les usagers, et d'autre part la communication entre les acteurs du projet.

### 4.5.1 Communication entre les acteurs du projet

Comme nous l'avons développé précédemment dans le chapitre 2 portant sur les approches définitionnelles, la gestion des informations et la collaboration sont deux facettes de la définition du BIM. En associant ces deux caractéristiques, les acteurs du projet sont amenés à s'échanger des flux d'informations et à travailler ensemble autour du modèle numérique, ce qui les conduit à communiquer entre eux. Et l'un des éléments déterminants dans la mise en place de passerelles entre le BIM et l'architecture durable est justement le travail collaboratif (Dautremont et al., 2018).

Utiliser le BIM comme outil de collaboration entre les acteurs du projet est l'un des arguments de vente les plus utilisés par les éditeurs de logiciels. Or, collaborer efficacement nécessite une bonne communication entre les parties prenantes, d'autant plus lorsque les différents acteurs possèdent chacun leur propre domaine de connaissances spécialisées (Sonnenwald, 1996), ce qui est le cas dans les processus de construction. Une communication efficace dans un projet de construction permet d'augmenter la productivité et l'efficacité des acteurs à travers l'amélioration du processus de collaboration (Goh et al., 2014). Dans une présentation réalisée en 2021 et intitulée « *Processus BIM : Remettre l'architecte au centre du projet* », Autodesk aborde le sujet de la communication comme suit :

*« Au sein de l'équipe interne d'une agence d'architecture ou dans le cadre d'un projet pluridisciplinaire, la communication d'un projet à l'aide du BIM va permettre de vulgariser et simplifier certaines choses. (...) Le BIM est un moyen de communication sans fin et la génération de panoramas réalistes offre la possibilité de s'immerger dans la maquette et ainsi de mieux comprendre l'ampleur des travaux à réaliser sur un tel projet. » (Autodesk, 2021, p. 12)*



Le concept de communication se positionne dans le sillage de celui de la collaboration, avec lequel il est intimement lié, et génère un intérêt certain dans la communauté des concepteurs utilisant le BIM. A titre d'exemple, une recherche Google utilisant les mots-clés « BIM communication acteurs » donne lieu à 776 000 résultats, contre seulement 172 000 résultats pour les mots-clés « BIM communication usagers ». Cet intérêt se répercute dans le domaine de la recherche : sur Google Scholar, 837 résultats sont obtenus pour la recherche « BIM communication usagers » et 2430 résultats sont recensés pour la recherche « BIM communication acteurs ».

La proposition d'Autodesk ci-dessus repose essentiellement sur l'emploi de la maquette numérique comme support de visualisation. Ce dernier peut en effet être un atout pour rendre les projets accessibles à des acteurs peu habitués à lire des plans. Il est majoritairement utilisé de cette manière en maîtrise d'ouvrage, sans s'inquiéter des informations stockées dans la banque de données que représente chaque élément visuel de la maquette numérique (Chaudet et al., 2016).

Ce sont pourtant ces informations stockées qui concernent les acteurs de la construction. Et pour qu'elles puissent être exploitables, il faudra qu'elles aient été encodées en fonction de l'usage qu'elles visent, en suivant une nomenclature et une manière de faire préétablies. Ce « protocole BIM » est incarné par une convention qui est négociée, rédigée et signée par tous les acteurs d'un même projet. Sa présence permet de définir les règles de la collaboration, y compris des moyens de communication à employer (Levan, 2016).

Au cours de la mise en place de ce protocole, il peut être décidé de communiquer avec des moyens externes à la maquette numérique tel que via des emails ou des canaux de communication numériques professionnels, mais il est également possible de communiquer directement dans la maquette numérique en utilisant un système de commentaires :

*« Once an element is selected, the various element properties are listed that provide useful information to the expert. The collaboration is facilitated by means of a rich comment management tool that allows to submit, edit, delete, and filter comments about selected BIM elements. (...) A user can navigate comments in chronological order or other semantic properties. Notifications are also available that inform actors for new dialogues or updated conversations. » (El-Diraby et al., 2017, p. 64)*

Dans ce cas de figure, le recensement des échanges peut être centralisé dans un seul canal de communication relié à un système de notification afin d'attirer l'attention des acteurs sur les nouveaux commentaires encodés, la maquette numérique devenant ainsi un véritable réseau social et de partage d'informations (El-Diraby et al., 2017). Une étude comparant 12 projets réalisés avec le BIM à 10 projets réalisés sans le BIM a démontré plus de connexions directes dans le cas des projets menés avec le BIM, rendant ainsi la communication plus facile et surtout plus rapide (Du et al., 2020).

Cependant cette communication idéale ne peut être appliquée que sous certaines conditions. En effet, la communication peut être verticale lorsqu'il s'agit d'une communication entre différentes strates d'une hiérarchie, ou entre des experts appartenant à différentes phases du projet, ou horizontale lorsqu'elle concerne des échanges entre personnes d'un même niveau hiérarchique ou appartenant à la même phase du processus de projet (Giroux, 1994). Or le nombre d'acteurs présents dans le processus de construction et la quantité importante d'acteurs amenés à collaborer, et donc à communiquer entre eux, engendre un manque de communication verticale entre les différents types d'acteurs, mais aussi une communication horizontale qui peut être difficile au sein même d'une strate d'acteurs appartenant à la même équipe (El-Diraby et al., 2017). Le sujet de la

communication dans les processus de construction reste donc un sujet complexe, et ce même sans tenter de le lier au BIM.

De plus, pour mettre en œuvre un processus de communication en utilisant le BIM, il faut accepter d'investir dans la formation des acteurs concernés, pour que ces derniers puissent exploiter au mieux les outils à leur disposition dans les processus de communication.

*« Si le BIM peut permettre d'augmenter la qualité par une meilleure communication sur le chantier, il implique d'intégrer un temps de formation. La formation apparaît ainsi comme un investissement de forme majeur qui permettra de faire le lien entre les différents outils et les différentes équipes. » (Chaudet, 2020a, p. 61)*

Enfin, il faut également que chaque acteur puisse être outillé pour lire les informations reçues, ce qui soulève toute la problématique liée à l'interopérabilité des formats de fichiers échangés, sans laquelle la collaboration s'avère plus ardue (Pirayesh Neghab et al., 2015).

Il est donc important de garder à l'esprit que même si le BIM est souvent associé dans sa définition à un processus de communication, ce dernier reste particulier du fait de la pluridisciplinarité des acteurs impliqués dans le domaine de la construction. En résumé, nous identifions deux critères possibles d'utilisation du BIM pour l'usage de la communication entre les acteurs : d'une part la collaboration améliorée, et d'autre part le recensement des échanges liés au projet (Tableau 19).

Catégorie d'usage	Usages BIM
Communication entre les acteurs du projet	- Recensement des échanges liés au projet - Collaboration améliorée

Tableau 19 - Usages BIM pour le critère de la communication entre les acteurs du projet

## 4.5.2 Communication avec les usagers

Nous distinguons les usagers des autres acteurs car ils représentent une catégorie particulière. En effet, il est difficile de prédire le comportement des utilisateurs dès la phase de conception. Il en va de même dans le cas d'autres facteurs, tels que les effets climatiques et la détérioration des matériaux utilisés. C'est pourquoi des écarts de performance entre les modèles prédictifs et les résultats finaux mesurés sont régulièrement constatés (Aïssani, 2016). De plus, il existe une contradiction dans la manière dont les habitants sont connectés aux processus BIM, mise en évidence par Cédric Aznal et Hervé Barry : bien que ces deux chercheurs expriment l'intuition que le BIM peut être un outil pour les utilisateurs, ils rappellent que ces derniers ne sont généralement pas pris en compte dans les discussions sur le BIM (Aznal & Barry, 2017). Pourtant, inclure des connaissances issues de l'avis de non-spécialistes est un atout dans le processus de conception car ce type d'acteur a la capacité de générer des points de vue diversifiés permettant de faire naître des solutions créatives (Van Herzele, 2004).

Il y a donc une distance entre l'utilisateur et le modèle numérique, qui peut se traduire par la diminution du contrôle des usagers sur leur confort énergétique (Boivin & Potvin, 2011). Dès lors, les utilisateurs ne sont pas toujours conscients de l'impact de leurs habitudes et comportements sur la consommation énergétique du bâtiment qu'ils fréquentent, ce qui les exclut de la boucle de communication associée aux opérations énergétiques des bâtiments. En effet, la plupart des outils se concentrent sur la phase de conception et les performances « telles que conçues » plutôt que sur l'état du bâtiment « tel que construit », ce qui interrompt le flux d'informations après la

construction du bâtiment (Aïssani, 2016). Et pourtant c'est justement à ce moment que l'utilisateur est intégré au projet.

Cette distance entre l'utilisateur et les informations liées au projet peut également affecter son bien-être. En effet, comme déjà mentionné, le contrôle perçu occupe une place plus importante que le contrôle réel, puisque le contrôle de l'environnement est l'un des éléments fondamentaux du bien-être des occupants du bâtiment. Cependant, faire porter l'entière responsabilité du confort énergétique sur l'utilisateur peut avoir l'effet inverse et lui donner un sentiment de perte de contrôle (Heerwagen, 2006). La diffusion des informations doit donc être mesurée avec précaution.

Il devient plus facile pour les concepteurs de prendre en compte le bien-être des utilisateurs lorsque ces derniers sont impliqués dans le flux d'informations. Romain Gournet et Christophe Beslay parlent de « *conception assistée par l'usage* », qui renvoie à l'analyse des habitudes et des besoins des utilisateurs du bâtiment. Former les utilisateurs à comprendre le fonctionnement des bâtiments dans lesquels ils travaillent devient alors nécessaire (Gournet & Beslay, 2015; Quentin et al., 2017). Cela inclut également de permettre aux utilisateurs de communiquer efficacement leurs besoins.

Par ailleurs, des codes de communication spécifiques sont utilisés dans le secteur de la construction. Ce langage est une combinaison de terminologies techniques et de représentations graphiques qui sont à l'origine de supports transmettant des informations aux personnes impliquées dans la construction, mais pouvant n'avoir aucun sens pour ceux qui n'y sont pas formés. Il est pourtant essentiel que toutes les parties impliquées se comprennent afin que chacun ait une vision commune du projet, qui n'existe qu'à l'état d'idée au stade de la conception.

Pour communiquer malgré l'existence de ces codes, la partie « modélisation » du BIM est particulièrement pertinente. Elle fournit une représentation visuelle des informations à travers des modèles 3D, rendant ces informations plus accessibles et favorisant une démarche inclusive envers les usagers. Il faut malgré tout des compétences spécifiques pour modifier le modèle, mais des acteurs externes au secteur de la construction peuvent s'y déplacer pour constater l'avancement et les solutions proposées. On peut par exemple observer cela dans les outils d'Analyse du Cycle de Vie (ACV), qui peuvent être combinés avec des outils de simulation énergétique (Mailhac et al., 2016). Couplés à la maquette numérique, plusieurs scénarios possibles peuvent être visualisés (Figure 38). Les informations, exprimées de manière visuelle notamment grâce à des codes couleurs sont faciles à comprendre même pour les débutants. A ce moment, le modèle devient un outil facilitant la communication avec les usagers, et peut être utilisé pour faciliter la prise de décision.

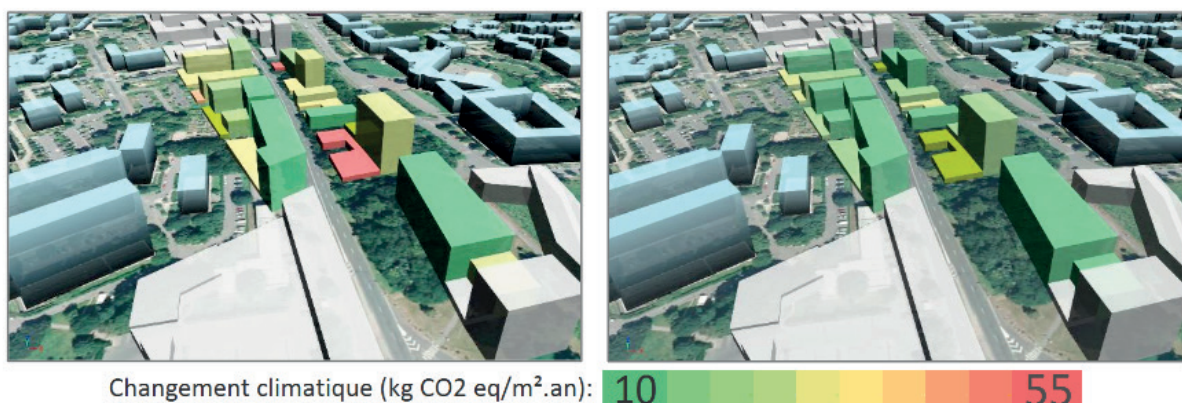


Figure 38 - Modélisation de l'impact du quartier sur le critère « changement climatique » pour deux scénarii différents, selon une étude menée par (Mailhac et al., 2016)

Il peut être avantageux pour les maîtres d'ouvrage de prendre en compte les besoins des utilisateurs. Dans les bâtiments conçus pour devenir des bureaux, une productivité et une créativité accrues au travail peuvent être stimulées par un environnement plus confortable pour les occupants. Dans le cas des bâtiments hospitaliers, la qualité de la convalescence des patients peut être améliorée (Heerwagen, 2006). De plus, le comportement des utilisateurs a un impact significatif sur la consommation énergétique du bâtiment, y compris sur les besoins en électricité domestique et en eau chaude (Arantes et al., 2016). Dès lors, le maître d'ouvrage peut améliorer les performances du bâtiment lorsque les utilisateurs participent à la conception et ont une bonne compréhension de leurs espaces de vie.

Le recours au numérique pour interagir avec les usagers est un sujet de recherche actuel. Au Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), une équipe de chercheurs travaille sur le projet GOLIATH (Goal Oriented Layered system for Inter-operable Activities of Things). Ce projet a pour objectif de faciliter le développement des environnements connectés dans un contexte de bâtiments intelligents, répondant aux besoins de confort des utilisateurs (LIST, 2023).

L'intérêt suscité par le BIM en tant qu'outil de communication avec les usagers s'exprime au niveau de la visualisation des solutions proposées par le concepteur, comme nous le décrivons dans les paragraphes ci-dessus, mais il se manifeste aussi au niveau de la communication vers et depuis les usagers. En effet, il présente également un intérêt en tant qu'outil de communication dans un contexte de participation citoyenne. Cette participation peut se réaliser en phase de conception et de construction, mais également en phase de maintenance. C'est ce qu'illustrent Alexander Koutamanis, Jos Heuer et Karen Könings dans une étude sur l'emploi du BIM pour communiquer avec les usagers d'une école, et ce dans toutes les phases du projet. Ils observent une plus-value dans la compréhension du bâtiment par les usagers et une augmentation d'intérêt porté par les étudiants et les professeurs dans le fonctionnement des performances du bâtiment (Koutamanis et al., 2017).

Certains envisagent même le BIM couplé aux réseaux sociaux. C'est le cas du projet « BIM social 2.0 », qui propose d'une part de communiquer des informations au plus grand nombre, et d'autre part de récolter des feedbacks des utilisateurs qui soient mis à jour en permanence suivant les dernières réactions récoltées sur les réseaux, tout en étant très accessible (Jäväjä et al., 2012).

*« BIM applications should integrate with social media tools so that users can sign in with one's credentials and be able to follow up the shared content of the BIM applications. It will not only make BIM application vendors to introduce new and easy user integration but also provide the customers with platform to continuously discuss and obtain feedback of their design content in a more approachable way. » (Jäväjä et al., 2012, p. 4)*

L'université de Toronto développe quant à elle le projet « Green 2.0 », qui vise à renforcer les interactions avec les utilisateurs en utilisant des méthodes ludiques portées sur les serious games et les logiciels BIM. L'objectif est de proposer une interface facile à utiliser pour les usagers, permettant de dialoguer avec le bâtiment, notamment à travers les réseaux sociaux. Un intérêt est également apporté à la possibilité d'ouvrir la communication vers la communauté scientifique en utilisant ces méthodes de communication (Grover et al., 2015).

Pour qualifier ces démarches, il est régulièrement fait mention du terme « SocioBIM » (Abisuga et al., 2019; Grover & Froese, 2016; Shoolestani et al., 2015), qui fait référence aux liens créés entre le BIM et le grand public pouvant être qualifié de non spécialiste dans le secteur de la

construction. Le SocioBIM permet d'évaluer la correspondance du projet prévu avec les attentes des usagers, de participer à la compréhension des usagers des performances écologiques du bâtiment et d'améliorer la communication autour des compromis nécessaires pour tenir compte à la fois de la santé des occupants, de leur confort et de la qualité environnementale du projet (Shoolestani et al., 2015). Cependant récolter une telle quantité de feedbacks peut s'avérer aboutir à un traitement fastidieux au moment de l'analyse et être alors contre-productif, voire être frustrant pour tous les acteurs concernés.

*« Indeed, this could also be the starting point for a new realm in innovation democratization and, more importantly, a bottom-up public decision making. However, the lack of means to analyze these seemingly chaotic discussions wastes these opportunities and is frustrating to end-users, engineers and decision makers. » (El-Diraby et al., 2017, p. 73)*

En conclusion, le BIM peut être employé pour la communication ; d'une part pour visualiser les solutions proposées, et d'autre part dans un objectif à la fois de communication vers les usagers et de communication par les usagers via la récolte de feedbacks intégrés à des démarches de participation citoyenne (Tableau 20).

<b>Catégorie d'usage</b>	<b>Usages BIM</b>
<b>Communication avec les usagers</b>	- Visualisation partagée des solutions proposées - Intégration de la participation citoyenne

*Tableau 20 - Usages BIM pour le critère de la communication avec les usagers*

## 4.6 Synthèse des usages BIM pour la durabilité sociale

A travers cette analyse, nous relevons cinq critères de durabilité sociale qui peuvent être exploités avec les processus BIM. Les quatre premiers critères sont le résultat de notre analyse de la recherche menée par Ruben Santos et al., de laquelle nous avons dégagé les critères de la sécurité, du confort des usagers, des processus d'apprentissage et du patrimoine culturel.

A ce résultat, nous avons choisi d'ajouter le critère de communication. En effet, notre étude de la définition de la durabilité sociale démontre que la communication est un point d'importance récurrent, et en parallèle notre étude de la définition de la notion de BIM démontre que la communication est un enjeu majeur dans les pratiques BIM. Une étude de Tamer El-Diraby et al. portant sur un module BIM « communication » et sur le réseau social du BIM nous a permis de mettre en évidence différents usages liés à la communication, notamment à travers le projet Green 2.0 (El-Diraby et al., 2017). Pour ces raisons nous avons choisi d'ajouter un point « Communication », scindé en la communication avec les usagers et la communication entre les acteurs. Ces critères et leurs usages associés sont synthétisés dans le tableau ci-dessous (Tableau 21). Les éléments présentés dans ce tableau sont donc issus des résultats de différentes recherches, menées dans un cadre de recherches universitaires ou d'expérimentations pédagogiques. Cependant, deux limites apparaissent à la lecture de cette synthèse.

Premièrement, notre synthèse ne peut pas être contextualisée, car elle s'appuie sur des recherches issues de laboratoires du monde entier. Les usages présentés ont été étudiés chacun de manière isolée, sans avoir été regroupés sous l'étiquette de la durabilité sociale dans un contexte donné. A ce stade, nous ne pouvons donc pas savoir ce qu'il en est dans le paysage franco-belge.

Deuxièmement, ces critères n'ont pas tous été confrontés à la réalité du terrain. Les études ayant mis en évidence ces usages permettent de démontrer qu'il est techniquement possible d'utiliser le BIM pour mettre en œuvre certains critères de durabilité sociale, mais nous ne pouvons pas affirmer que ces démarches s'inscrivent dans la pratique des concepteurs ou qu'elles seraient bien accueillies par ces derniers.

Dans la poursuite de notre recherche, nous souhaitons vérifier si les critères que nous avons identifiés sont mis en œuvre dans les démarches BIM des concepteurs belges et français, et comment ces critères sont acceptés par les acteurs des équipes de conception. Si ce n'est pas le cas pour certains critères, nous souhaitons identifier quelles en sont les raisons. Pour ce faire, nous avons réalisé une étude de terrain, dont nous présentons les détails dans le chapitre suivant.

<b>Catégories d'usages</b>	<b>Usages BIM</b>
<b>Sécurité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation des données de précédents chantiers pour identifier les accidents fréquents,</li> <li>- Vérification des règles de sécurité,</li> <li>- Estimation du coup des équipements de sécurité,</li> <li>- Localisation sur le chantier en temps réel des ouvriers et des équipements,</li> <li>- Utilisation de capteurs dans les casques des ouvriers,</li> <li>- Visualisation des espaces de sécurité requis pour manipuler les équipements,</li> <li>- Identification des conflits horaires entre équipes ou équipements lourds,</li> <li>- Gestion des interventions en cas d'incendie,</li> <li>- Entrainement et formation des usagers à la sécurité</li> </ul>
<b>Confort des usagers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Collecte des données liées à l'occupation du bâtiment,</li> <li>- Simulation de l'éclairage naturel,</li> <li>- Identification des causes d'inconfort liées à l'agencement des espaces,</li> <li>- Monitoring de la production d'électricité et de chauffage,</li> <li>- Estimation des coûts liés à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers</li> </ul>
<b>Processus d'apprentissage pour les étudiants et professionnels de la construction</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visualisation des espaces,</li> <li>- Amélioration de la compréhension de l'aménagement des espaces,</li> <li>- Apprentissage des principes de construction durable par simulation</li> </ul>
<b>Patrimoine culturel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modélisation de bâtiments à différentes époques, bibliothèques numériques de bâtiments historiques,</li> <li>- Surveillance des bâtiments,</li> <li>- Maintenance et entretien des bâtiments,</li> <li>- Réduction des coûts de maintenance</li> </ul>
<b>Communication avec les usagers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visualisation partagée des solutions proposées,</li> <li>- Intégration de la participation citoyenne</li> </ul>
<b>Communication entre les acteurs du projet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recensement des échanges liés au projet,</li> <li>- Collaboration améliorée</li> </ul>

Tableau 21 - Synthèse des rôles du BIM dans les critères de durabilité sociale, production de l'auteur réalisée sur base des recherches de (Santos et al., 2019) et de (El-Diraby et al., 2017)

## **PARTIE 3 : ACCEPTABILITE DES USAGES BIM POUR LA DURABILITE SOCIALE**

La troisième partie de ce travail propose une approche pour évaluer l'acceptabilité sociale des usages BIM identifiés dans la partie précédente. Pour ce faire, nous nous inspirons de la méthodologie Ecoute des Besoins et Attentes et leur Hiérarchisation (EBAHIE) développée au département DeVisu du laboratoire LARSH (Leleu-Merviel, 2008). Cette méthode est une transposition de la méthode Conception à l'Ecoute du Marché (CEM), qui est une méthode employée en management et en marketing pour initier un processus d'amélioration ou d'innovation d'un produit sur base de l'écoute et des échanges avec ses utilisateurs (Walser-Luchesi & Calmelet, 2007).

La méthode EBAHIE se déroule en deux parties, mêlant approche qualitative et quantitative. La première partie EBA, écoute des besoins et attentes, consiste en des entretiens qualitatifs cherchant à exprimer les attentes des usagers à partir du recueil de leurs voix, récoltées lors des entretiens. Nous nous inspirons de la partie qualitative pour créer notre guide d'entretien. Pour cela, nous utiliserons la structure proposée par la méthode EBAHIE, qui consiste à demander aux interviewés de s'exprimer à propos du passé, du présent, du futur, et de l'imaginaire. Notre objectif est de récolter les réactions des concepteurs face aux usages que nous avons définis lors de la deuxième partie de ce travail. Nous utiliserons donc le modèle établi lors de cette partie comme outil de référence lors des entretiens, en demandant aux interviewés de réagir à chaque usage.

### **CHAPITRE 5 : MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE**

Pour rappel, l'objet de cette thèse porte sur l'étude des usages BIM dans un contexte de construction socialement durable. Comme nous l'avons défini dans le chapitre 3, l'étude des usages d'un phénomène passe par l'étude de son utilité, de son acceptation sociale et de son utilisabilité. L'évaluation de l'acceptation sociale d'une technologie se concentre sur la façon dont les utilisateurs perçoivent et utilisent la technologie dans leur contexte réel. L'objectif est de comprendre comment la technologie répond aux besoins et aux attentes des utilisateurs, et comment elle est utilisée dans la pratique.

Le chapitre précédent démontre que le BIM présente une utilité dans le traitement de plusieurs usages liés à la durabilité sociale des projets. Ces usages sont répartis en six thématiques : la sécurité, le confort des usagers, les processus d'apprentissage pour les étudiants et les professionnels de la construction, le patrimoine culturel, et la communication d'une part avec les usagers, et d'autre part entre les acteurs du projet. Pour chacune de ces catégories d'usage, plusieurs usages ont été identifiés (Tableau 21).

Pour cette étude, nous adoptons une position constructiviste. Le constructivisme est une approche épistémologique considérant que la connaissance scientifique est construite par l'individu à partir de ses expériences (Mucchielli, 2003). Cela suggère que la construction de la connaissance est propre à chaque individu et est donc subjective. De plus, il est considéré que chaque individu construit sa propre connaissance à partir de ses expériences et perspectives personnelles,



notamment à travers ses interactions avec d'autres individus (Vygotsky, 1980), ce qui en fait une approche active. Le constructivisme suppose également que la connaissance est contextualisée, l'individu étant toujours influencé par le contexte dans lequel il a construit ses connaissances (Bronfenbrenner, 1996).

Dans ce chapitre, nous étudions l'acceptation sociale des usages que nous avons identifiés dans le chapitre précédent auprès des concepteurs de projet. A travers cette étude, nous avons cherché à comprendre quelle était la perception que peuvent avoir les concepteurs de projets d'architecture œuvrant en Belgique ou en France face aux usages que nous avons identifiés ci-dessus. Pour cela, nous avons réalisé une étude de l'acceptation sociale de l'intégration des usages BIM favorisant la prise en compte de la durabilité sociale dans les projets d'architecture, vus par les concepteurs de projets belges et français. Ce chapitre décrit la méthode employée pour récolter et analyser la parole des concepteurs.

## 5.1 Construction du protocole

Laurent Morillon distingue dans la construction d'un protocole d'une part la phase exploratoire et d'autre part la phase de définition et mise en place d'une méthodologie (Figure 39). Ces deux phases sont elles-mêmes composées de différentes étapes, qui mènent à la définition d'un problème de recherche et d'objectifs associés (Morillon, 2008). Ces derniers orienteront les choix appliqués à la méthodologie utilisée pour solutionner le problème de recherche.

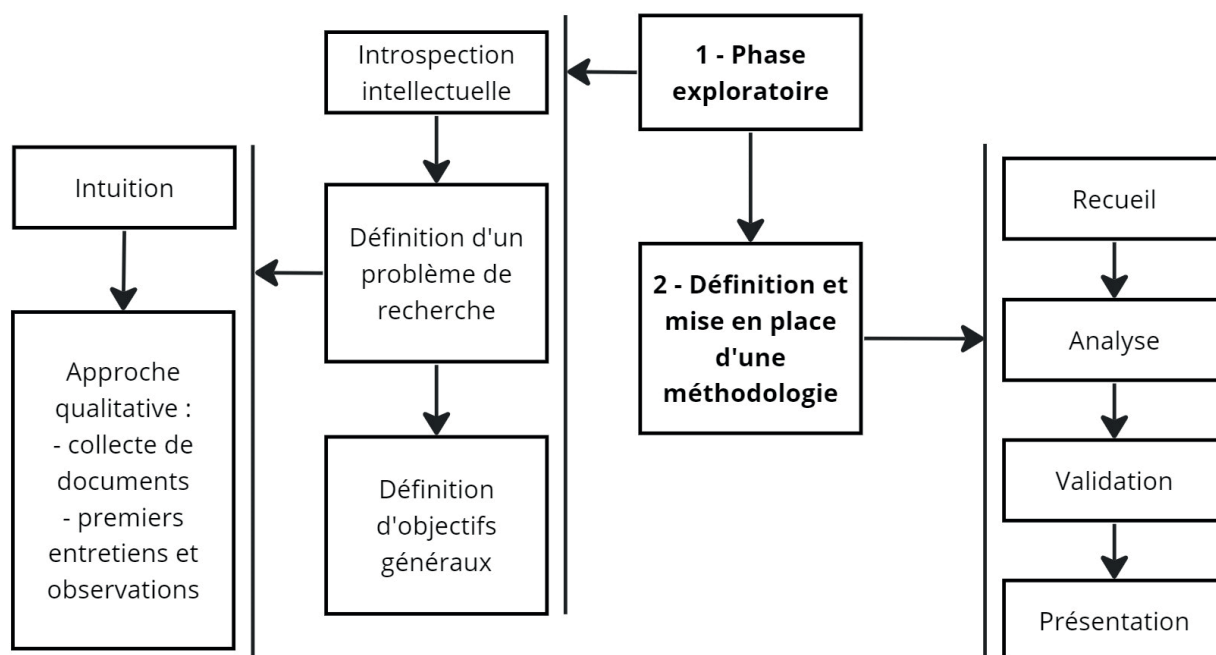


Figure 39 - Schéma récapitulatif de la construction d'un protocole (Morillon, 2008)

Dans notre cas, ce travail s'articulait à l'origine autour de trois mots-clés : la durabilité, le BIM et les jeux d'acteurs. Notre travail a donc débuté par une phase exploratoire au cours de laquelle nous avons parcouru la littérature orientée autour de ces trois thématiques. Lors de cette phase nos observations ont porté sur l'exploration des travaux de recherche précédemment publiés par la communauté scientifique, en lien avec l'un de ces mots-clés, deux de ces mots-clés ou les trois mots-clés réunis. Cette démarche exploratoire est induite par le caractère récent dans l'histoire de la recherche des thématiques de certains de nos mots-clés : la durabilité, le BIM et par extension le numérique.

Notre démarche avait donc initialement pour objectif de confronter les domaines de recherche de nos différents mots-clés entre eux, en inscrivant cette confrontation dans les champs de recherche liés aux Sciences de l'Information et de la Communication et à l'Architecture. L'objectif de cette confrontation était d'identifier des verrous existants aux points de rencontre de ces thématiques. Le résultat de cette phase correspond aux chapitres de contextualisation et d'approches définitionnelles axés sur le numérique et la durabilité en architecture.

A l'issue d'une longue période remplie de lectures, conférences, cours et colloques, nous avons construit des observations qui nous ont amenés à nous concentrer sur la problématique de la durabilité sociale dans les pratiques BIM. Cette phase exploratoire nous a mené à deux objectifs : d'une part vérifier la position du concept de durabilité sociale dans les représentations des

concepteurs, et d'autre part sonder les concepteurs sur leur niveau d'acceptabilité sociale des usages BIM pour la durabilité sociale. La deuxième phase de ce travail se manifeste par la conduite d'une enquête qualitative organisée en deux parties.

Ayant deux objectifs à approfondir, notre recherche s'est construite sur base de deux approches méthodologiques combinées : une approche hypothético-déductive qui a permis de répondre à l'objectif d'élaborer une définition de la durabilité sociale selon les concepteurs, et une approche inductive utilisée pour réaliser une étude des usages BIM pour la durabilité sociale orientée vers le concept d'acceptabilité sociale. Le recours à deux démarches de recherche différentes, hypothético-déductive et inductive, porte le nom de méthode mixte.

Utiliser les termes « méthode mixte » peut également faire référence au recours combiné aux entretiens qualitatifs et aux questionnaires quantitatifs (Johnson et al., 2007). Cependant, cela fait également référence à la mise en place conjointe d'une démarche inductive et déductive (Aldebert & Rouzies, 2015; Creswell, 2009). C'est cette deuxième option que nous avons mise en place dans notre travail. Dans certains travaux, l'utilisation d'une démarche hypothético-déductive couplée à une démarche inductive est assimilée à la Méthodologie de la Théorisation Enracinée (MTE), une méthodologie développée en 1967 par Barney Glaser et Anselm Strauss (Glaser & Strauss, 1967). Perçue comme rebelle à ses débuts, elle est aujourd'hui de plus en plus utilisée pour son approche inductive car elle est associée à un cadre méthodologique solide.

*« La MTE s'est, en effet, donné comme mission de fournir à l'analyse qualitative un cadre méthodologique aussi crédible que le modèle reçu de la recherche scientifique en sciences naturelles » (Guillemette & Luckerhoff, 2012, p. 62)*

Il existe plusieurs approches au sein même de la MTE, qui sont parfois associées aux deux fondateurs initiaux de la méthodologie, certains se réclamant plutôt Straussiens ou Glaseriens. Notre approche se situe plutôt dans cette deuxième école, qui s'appuie sur une approche constructiviste permettant d'explorer la perception des acteurs (F. Labelle et al., 2012).

*« [Selon l'approche Glaserienne] la MTE serait avant tout un outil permettant d'étudier les éléments subjectifs de l'expérience humaine, c'est-à-dire la perspective des acteurs et la façon dont ils construisent leur réalité sociale. » (F. Labelle et al., 2012, p. 64)*

Considérant que, par notre recherche, nous souhaitons étudier la perception des acteurs quant à la place de la durabilité sociale dans leur définition de la durabilité, ainsi que leur niveau d'acceptation des usages BIM pour la durabilité sociale des projets, nous avons choisi de nous inspirer de la MTE pour analyser nos entretiens.

Le déroulement de notre recherche est synthétisé dans la figure ci-dessous (Figure 40).

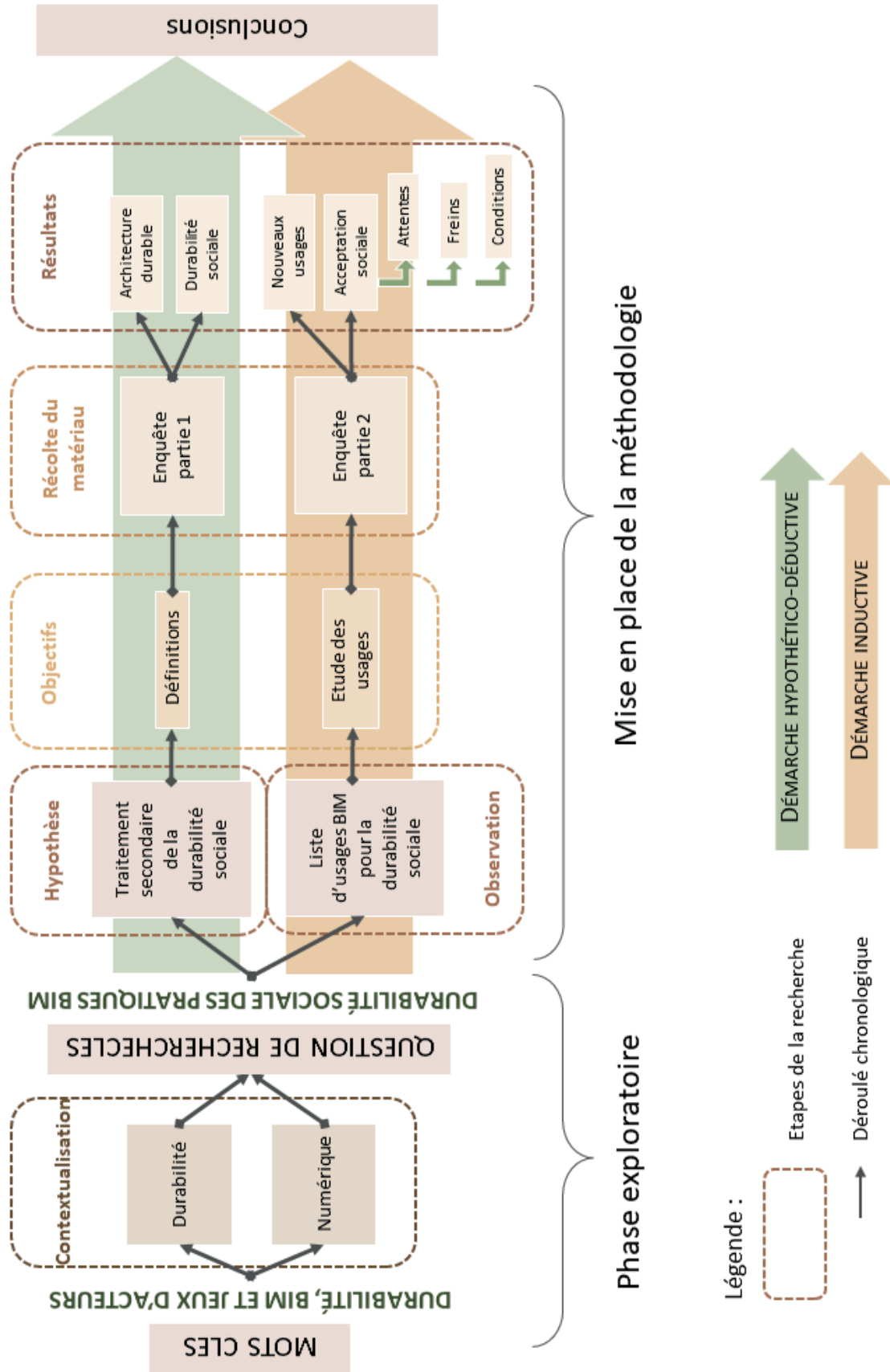


Figure 40 - Déroulement de la recherche

La première partie de l'enquête a été réalisée dans une démarche hypothético-déductive. Une démarche hypothético-déductive débute par une question de recherche, qui donne lieu à la formulation d'une hypothèse. Cette hypothèse, provisoire, doit ensuite être vérifiée au cours d'un processus d'enquêtes ou de tests empiriques, ce qui donne lieu à la confirmation ou l'infirmité de l'hypothèse (Leleu-Merviel, 2019). Dans notre travail, l'enquête partie 1 est issue des observations que nous faisons dans les chapitres 1 et 2 de ce manuscrit, traitant de la transition durable et des approches définitionnelles de la durabilité, dans lesquels nous constatons que la durabilité sociale est souvent traitée de manière secondaire dans la littérature sur la durabilité et de l'architecture durable. Cela nous a amené à poser l'hypothèse que la durabilité sociale pouvait être peu présente, voire absente, dans la perception que les concepteurs ont de la durabilité. Pour vérifier cela, nous avons mené des entretiens auprès de 11 concepteurs dans l'objectif d'établir une définition de la durabilité selon les concepteurs, et de la durabilité sociale selon les concepteurs.

La deuxième partie de l'enquête a été menée avec une approche inductive. Dans ce type de démarche, le chercheur se livre à des observations sur le terrain sans idées préconçues. A partir de l'analyse, des corrélations sont identifiées et permettent de formuler une théorie (Leleu-Merviel, 2019). La partie 2 de notre enquête interroge les mêmes concepteurs que dans la partie 1, mais elle est le fruit de l'étude de l'utilité du BIM pour la durabilité sociale que nous avons menée dans le chapitre 4. Cette étude nous a amené à proposer une liste de catégories d'usages, que nous avons ensuite confrontée aux concepteurs interrogés. L'objectif de cette partie était d'explorer l'acceptation sociale de ces usages. Pour cette partie d'enquête, nous n'avons pas d'hypothèse préalable, c'est à travers l'analyse du matériau récolté que nous avons pu élaborer des constats. La méthode utilisée pour conduire et analyser ces entretiens est décrite dans les sections suivantes.

## 5.2 Choix de la méthode d'enquête

Pour étudier l'acceptation des concepteurs face aux usages BIM de la durabilité sociale, nous avons mené des entretiens en France et en Belgique entre avril 2022 et aout 2023. Notre démarche poursuit deux objectifs :

- Déterminer comment les concepteurs définissent la durabilité sociale, et s'ils associent cette dernière au concept de durabilité
- Réaliser un état des lieux de l'acceptation des usages BIM pour la durabilité sociale

Notre démarche vise à comprendre l'ancrage d'un phénomène inscrit dans les pratiques des concepteurs. Pour évaluer cela, nous avons choisi d'utiliser une démarche qualitative.

*« Les méthodes qualitatives ont pour fonction de comprendre plus que de décrire systématiquement ou de mesurer » (Kaufmann & Singly, 2016, p. 30)*

Ce choix d'opter pour une méthode qualitative se justifie par la maturité du secteur de la construction envers les processus BIM. En effet, les agences ayant adopté les pratiques BIM de manière avancée sont peu répandues (Hochscheid & Halin, 2020b). Or les questions que nous soulevons dans notre guide d'entretien font appel à une capacité de se projeter dans les futures applications du BIM. Répondre à ces questions demande idéalement une vision de précurseur (Rogers, 1995), ou à minima d'être familier des processus BIM. Dans ce contexte, il était difficile d'avoir recours à des méthodes quantitatives, le risque de ne pas obtenir suffisamment de répondants étant plutôt élevé. De plus, les méthodes qualitatives permettent de comprendre en profondeur une pratique en mettant en évidence des mécanismes sociaux en s'approchant le plus possible du terrain et de ses acteurs (Desjeux et al., 2013). L'approche qualitative est la plus pertinente lorsqu'il s'agit d'étudier des phénomènes subjectifs et difficiles à mesurer (Aubin-Auger et al., 2008). En cherchant à faire un état des lieux de la perception d'un type d'acteurs, ce sont bien des informations subjectives que nous souhaitons récolter.

*« On considère que la méthode qualitative traite des données difficilement quantifiables, qu'elle recourt à une méthode d'analyse souple et davantage inductive et qu'elle s'inspire de l'expérience de la vie quotidienne et du sens commun qu'elle essaie de systématiser » (Nguyen-Duy & Luckerhoff, 2007, p. 8)*

Dans les méthodes qualitatives, trois types d'entretiens sont possibles : l'entretien directif, l'entretien semi-directif et l'entretien non-directif. L'entretien directif est encadré par un questionnaire structuré, mais utilise des questions plus ouvertes et générales que le type de questions utilisées dans un questionnaire quantitatif (Morillon, 2008). L'entretien non-directif est libre de tout guide d'entretien. L'enquêteur propose au répondant une question directe, puis le laisse librement s'exprimer sans guider son discours avec des questions intermédiaires. Le chercheur a alors pour unique rôle de récolter la parole du répondant en encourageant ce dernier à approfondir sa réponse (Duchesne, 1996). Il est considéré que l'entretien non-directif permet d'accéder à un niveau plus profond d'informations (Michelat, 1975). L'entretien semi-directif quant à lui utilise un guide d'entretien dans lequel les thèmes à aborder sont listés, leur formulation exacte pouvant varier d'un entretien à l'autre. Le chercheur a pour objectif de recueillir certaines informations décidées en amont et qui satisferont aux objectifs de la recherche (Merton et al., 1990).

C'est ce dernier type d'entretien que nous avons utilisé pour nos enquêtes. Il nous semblait être le plus approprié car il permet d'utiliser une démarche compréhensive pour collecter des

informations sur un sujet, tout en prenant en compte l'expérience du répondant (Pin, 2023). De plus, il permet de faire remonter des informations depuis le terrain, dans une logique exploratoire :

« Sur le plan épistémologique, l'entretien semi-directif s'inscrit dans un mode de raisonnement scientifique où le terrain (donc ce que disent les enquêtés) n'est pas qu'une instance de vérification de théories élaborées dans l'abstrait, mais bien ce à partir de quoi s'engage l'élaboration de la question de recherche et des hypothèses : la théorie est produite par induction à partir des données de terrain, selon le principe de la Grounded theory popularisé par Anselm Strauss. » (Pin, 2023, p. 2)

Le caractère flexible des entretiens semi-directifs aide l'enquêteur à explorer plus profondément les thématiques que ce qui aurait été possible avec un questionnaire quantitatif, tout en conservant un cadre à l'enquête (Silverman, 2013). De plus, les récits personnels des répondants aident à produire de la connaissance sur leurs motivations et leurs croyances (Maxwell, 2013). Il est donc pertinent de choisir la méthode de l'entretien semi-directif pour répondre à nos deux objectifs, à savoir déterminer comment les concepteurs perçoivent le concept de la durabilité sociale, et déterminer la façon dont ils acceptent le concept au sein des pratiques BIM. Pour cela, nous avons mené une enquête sur les représentations et les pratiques des concepteurs, dans laquelle les entretiens s'intéressent à la fois à la conception des acteurs et à leurs pratiques (Blanchet & Gotman, 2017). Afin de répondre à nos deux objectifs mentionnés ci-dessus, notre étude se déroule en deux parties, chacune d'entre elles répondant à l'un de nos deux objectifs : une première partie orientée sur les définitions perçues des acteurs quant à différents concepts liés à l'architecture socialement durable, et une seconde partie centrée sur l'acceptation sociale des usages identifiés dans le chapitre précédent dans la pratique des acteurs interrogés. Les deux parties ont été administrées aux mêmes personnes. Chaque entretien a suivi le même guide d'entretien, la formulation des questions pouvant varier d'un entretien à l'autre (Figure 41).

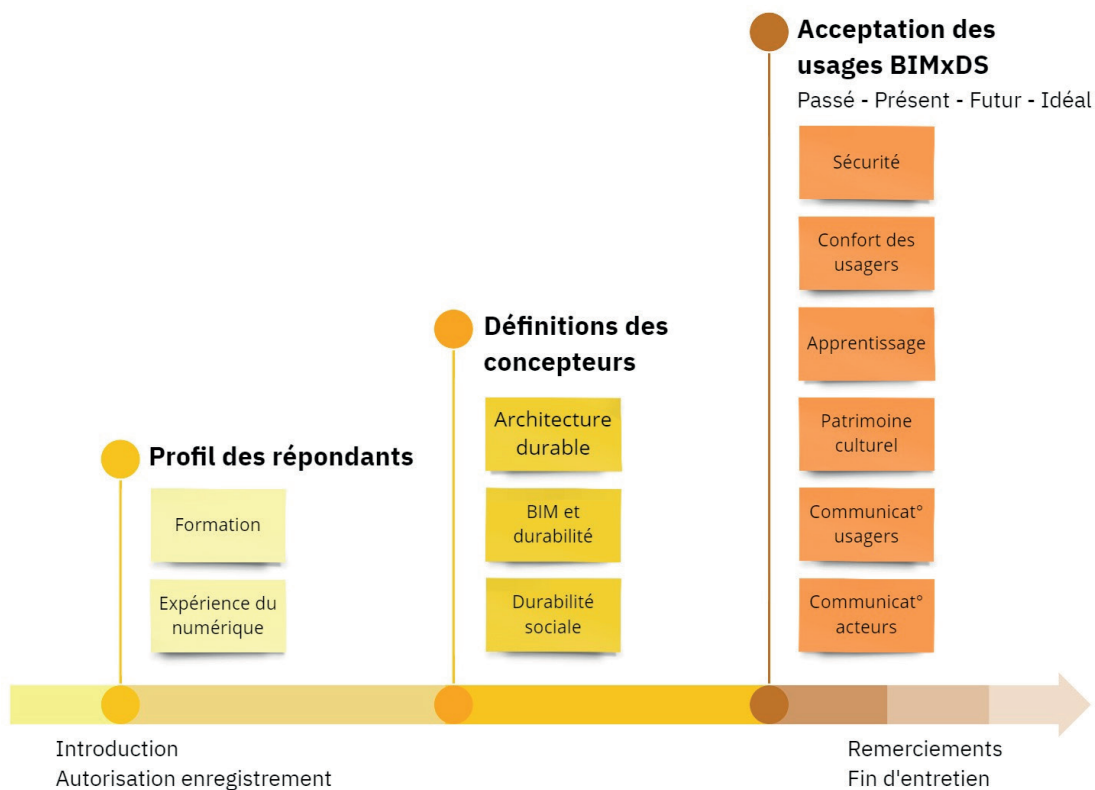


Figure 41 - Déroulement d'un entretien

## 5.3 Choix de la méthode d'analyse

Comme nous l'avons décrit dans les sections précédentes, le guide d'entretien de la deuxième partie de l'enquête était articulé autour de la récolte des réactions des répondants face aux usages que nous avons identifiés, avec la directive de positionner ces usages dans le passé, le présent, le futur ou l'idéal. Au moment de la conduite des entretiens, nous pensions analyser ces réponses en réalisant une grille de lecture basée sur les termes « passé », « présent », « futur » et « idéal ». Cependant, au cours de l'analyse des résultats obtenus, nous avons constaté qu'analyser le matériau récolté de cette manière ne pouvait pas mener à des conclusions solides et pertinentes, ce qui nous a conduit à reconsidérer le choix de la méthode d'analyse et opter pour la méthode de l'analyse inspirée de la MTE de Christophe Lejeune (Lejeune, 2019). Dans les paragraphes suivants, nous décrivons la démarche que nous avons entamée et les raisons pour lesquelles nous avons choisi de modifier l'articulation de notre méthode d'analyse.

### 5.3.1 La classification des usages

Initialement, nous avons déterminé un code couleur pour attribuer une valeur de classement aux termes « passé », « présent », « futur » et « idéal », afin de visualiser l'ancrage des usages proposés aux répondants dans leurs pratiques. Cependant, nous avons constaté qu'aucun répondant ne classait un usage dans le passé. Cela peut s'expliquer par le fait que premièrement, ces usages sont tirés d'une méta-analyse publiée en 2019, ils sont donc issus d'une recherche récente. Et deuxièmement, comme nous l'avons montré dans le chapitre 1, le BIM de manière générale est un concept récent, qui n'est pas encore pleinement déployé dans le milieu de la construction. Nous avons donc exclu cette réponse de la grille d'analyse initiale (Figure 42 - Grille d'analyse initiale).

7	Présent
6	Futur
5	Idéal

Figure 42 - Grille d'analyse initiale

De plus, nous avons observé que les termes « passé », « présent », « futur » et « idéal » ne correspondaient pas de manière exclusive aux termes employés par les répondants pour qualifier les usages proposés. En effet, en plus des termes que nous avons prédéfinis, les répondants ont choisi d'employer ceux de « faisable », « utile », « réticence » et « rejet ». Nous avons donc réalisé une grille d'analyse complémentaire afin de classer les réponses obtenues (Tableau 22).



<b>Terme</b>	<b>Signification</b>
<i>Faisable</i>	Renvoie à des usages qui, aux yeux des répondants, semblent réalisables à l'heure actuelle dans les pratiques, mais que les répondants n'ont ni expérimentés par eux-mêmes, ni vus dans les pratiques de leur réseau
<i>Utile</i>	Renvoie à des usages pour lesquels les répondants ont jugé que le BIM n'était pas la réponse la plus adaptée quant à leur traitement. Cela ne signifie pas que l'usage est inutile, mais ce terme remet en question l'utilité du BIM en tant qu'outil permettant de réaliser l'usage mentionné
<i>Réticence</i>	Renvoie à des inquiétudes exprimées par les répondants, sans pour autant que ces derniers n'expriment un rejet clair et définitif. Il s'agit d'usages pour lesquels les répondants estiment qu'un frein majeur peut ralentir ou diminuer le développement de l'usage proposé
<i>Rejet</i>	Renvoie à des usages que les répondants ont catégoriquement rejetés, parce qu'ils ne jugeaient pas nécessaire d'accorder de l'importance à l'usage proposé

Tableau 22 - Grille d'analyse complémentaire

Classés de 0 à 7, les termes constituant cette grille d'analyse avaient pour objectif de nous permettre d'estimer le niveau d'ancrage des usages dans les pratiques des répondants (Figure 43). Dans certains cas, le répondant a choisi de ne pas répondre de manière directe à la question, nous avons créé une catégorie reprenant ces situations afin de ne pas se laisser aller à la surinterprétation des réponses obtenues. En utilisant cette grille pour débiter notre analyse, nous avons observé deux phénomènes que nous décrivons dans les sections suivantes, et qui nous ont conduit à renoncer à cette méthode.

7	Présent
6	Futur
5	Idéal
4	Faisable
3	Utilité
2	Réticence
1	Rejet
0	Pas de réponse

Figure 43 - Grille d'analyse

### 5.3.2 L'exhaustivité des réponses récoltées

En débutant notre analyse, nous avons remarqué que pour les cinq premiers entretiens, plusieurs usages n'ont pas été abordés par tous les répondants, ce que l'on ne constate plus à partir du sixième entretien (Figure 44). Cette préanalyse a également permis de constater que les répondants avaient tendance à ne pas s'exprimer sur l'ancrage de tous les usages proposés.

Pour pallier ce problème, une adaptation de la manière de conduire les entretiens a été mise en place. Dès lors, nous avons accordé une attention particulière à cette question lors des entretiens, afin de s'assurer que les répondants posaient un avis clair sur les usages proposés en utilisant les appellations que nous avons déterminées dans la grille d'analyse.

<b>Ancrage perçu Sécurité</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>R6</b>	<b>R7</b>	<b>R8</b>	<b>R9</b>	<b>R10</b>	<b>R11</b>
Utilisation des données de précédents chantiers pour identifier les risques et accidents fréquents	4	0	6	0	0	7	7	2	6	6	3
Vérification des règles de sécurité	4	7	7	0	0	7	7	7	6	7	3
Estimation du coût des équipements de sécurité	4	0	0	0	0	2	0	7	7	7	0
Localisation sur le chantier en temps réel des ouvriers et des équipements	2	0	6	6	0	7	7	6	7	3	1
Utilisation de capteurs dans les casques des ouvriers	2	0	6	2	0	7	6	2	6	1	1
Visualisation des espaces de sécurité requis pour manipuler les équipements	4	7	0	6	0	7	0	7	6	7	4
Identification des conflits horaires entre équipes ou équipements lourds	5	0	7	6	0	7	7	6	2	4	7
Gestion des interventions en cas d'incendie	5	1	0	0	0	5	0	2	6	5	5
Entraînement et formation des usagers aux règles de sécurité	0	6	0	0	0	5	7	7	7	3	5

Figure 44 - Ancrage dans les pratiques - Thématique de la sécurité – Usages identifiés lors de l'étude des usages

### 5.3.3 La disparité des réponses récoltées

On peut également observer une disparité dans les avis récoltés sur un même sujet. Chaque répondant ayant une expérience professionnelle qui lui est propre, il est normal qu'ils aient chacun une perception différente d'un même sujet. C'est pour cette raison que la méthode EBAHIE (Leleu-Merviel, 2008) propose de compléter ce premier feedback, issu d'entretiens qualitatifs, par une deuxième enquête à plus grande échelle afin de quantifier et organiser les réponses obtenues.

Concernant les usages identifiés par les concepteurs, on observe que la récolte d'informations est beaucoup plus importante à partir du septième répondant. En effet, avant le septième entretien, les usages figurant dans le tableau ci-dessous ne faisaient pas encore partie du guide d'entretien utilisé lors des sessions d'interviews (Figure 45).

<b>Ancrage perçu Sécurité</b>	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11
Modélisation des aménagements liés à la sécurité (échelle de secours, ligne de vie, ...) en phase conception	7	0	5	0	0	0	0	7	7	7	7
Modélisation des équipements de chantier par l'entrepreneur, y compris des équipements provisoires ou mobiles, en intégrant une composante temporelle	5	0	0	0	0	0	7	0	7	5	7
Vérification des réglementations et normes d'accès PMR	0	7	0	0	0	7	0	7	6	7	5
Visualisation des zones nécessaires à la maintenance des équipements	0	7	5	0	0	0	0	7	7	7	7
Utilisation de la maquette en tant qu'interface de visualisation des alertes de sécurité liées à la maintenance des équipements	0	6	5	0	0	0	5	5	7	6	7
Utilisation du modèle numérique par les pompiers en cas d'incendie	5	1	5	0	0	0	6	1	7	5	5

Figure 45 - Ancrage dans les pratiques - Thématique de la sécurité – Usages identifiés par les répondants

Dès lors, il n'était pas possible de tirer des conclusions solides quant à l'ancrage des usages proposés dans les pratiques des répondants. La totalité des tableaux d'analyse liés à l'ancrage dans les pratiques sont disponibles en annexe 1.

### 5.3.4 Synthèse

Les trois raisons qui nous ont menés à reconsidérer notre méthode d'analyse sont premièrement le système de classification des usages qui ne correspondait pas à la réalité des concepteurs, deuxièmement le manque d'exhaustivité des réponses récoltées en rapport avec cette classification, et troisièmement la disparité des réponses obtenues à travers cette échelle de classification.

De plus, notre objectif initial était de rendre compte de la perception des concepteurs quant à l'emploi du BIM dans un contexte de projet socialement durable. Le positionnement d'un usage par rapport aux pratiques actuelles peut être un indicateur du niveau de déploiement de ces usages, mais il ne témoigne pas directement de l'acceptation sociale des usages BIM pour la durabilité sociale.

Pour toutes ces raisons, nous avons choisi de renoncer à cette démarche d'analyse, pour à la place nous tourner vers la méthode d'analyse de contenu de Christophe Lejeune (Lejeune, 2019). Nous décrivons dans la section suivante le protocole que nous avons appliqué. Cela s'est avéré être un choix fructueux puisque cette méthode nous a permis d'identifier des attentes, des freins et des conditions perçues par les concepteurs dans le recours au BIM pour mettre en place des usages en lien avec la durabilité sociale. Nous avons pu par-là définir plus finement la perception et l'acceptation des concepteurs face à ces usages.

## 5.4 Traitement du matériau récolté

Tous les entretiens ont été enregistrés soit uniquement à l'audio pour les entretiens ayant eu lieu en présentiel, soit à l'audio et en vidéo pour les entretiens ayant eu lieu en distanciel. De plus, chaque entretien a fait l'objet d'un compte rendu manuscrit constitué de prises de notes au vol, réalisées en direct pendant l'entretien.

La procédure que nous avons utilisée pour analyser la parole recueillie auprès des concepteurs se base sur la méthode d'analyse décrite par Christophe Lejeune dans « *Manuel d'analyse qualitative. Analyser sans compter ni classer* » (Lejeune, 2019). Cette méthode d'analyse est axée sur l'attribution d'étiquettes thématiques à des segments de texte, étiquettes qui sont ensuite organisées en thématiques, ce qui permet de maintenir objectivité et rigueur systématique de la part du chercheur, deux qualités indispensables dès lors que l'on s'attache à utiliser une méthode d'analyse qualitative.

*« L'analyse de contenu qualitative, amène le chercheur à dépasser ses habitudes de lecteur et à décrire de façon objective et systématique le matériel recueilli. » (Morillon, 2008, p. 57)*

Le choix de cette méthode nous permet d'analyser le matériau récolté de façon qualitative, en alignement avec le choix de la méthode qualitative utilisée pour récolter la parole des concepteurs. Il est cependant également possible d'analyser de façon quantitative un matériau récolté de manière qualitative, en favorisant la transposition en pourcentage des temps de paroles accordés à chaque thématique par exemple, ou en réalisant des analyses lexico-métriques sur les mots choisis par les acteurs pour répondre aux questions. Ce type d'analyse a pour but d'objectiver les propos récoltés, et est considérée par Pierre Paillé comme étant une analyse « quasi-qualitative » (Paillé, 1996). Nous lui avons préféré une analyse exclusivement qualitative, qui nous permet de comprendre en profondeur la logique du phénomène étudié.

*« Les mots ne sont pas utilisés pour ajouter aux mots déjà existants, mais pour les reformuler en des termes plus synthétiques, pour les expliciter en réussissant, à force d'examens répétés, à bien nommer les phénomènes rapportés par les sujets ou observés par le chercheur, voire pour construire des modèles et des théorisations permettant de rendre compte de la logique des expériences ou des dynamiques patiemment examinées ou observées par le chercheur. » (Paillé, 2007, p. 413)*

La méthode d'analyse proposée par Christophe Lejeune, issue de la Méthode de la Théorisation Enracinée, est inductive et itérative (Charmaz, 2014). Elle permet de développer une théorie à partir du vécu des personnes interrogées (Corbin & Strauss, 2015). Dans cette méthode, les étiquettes attribuées aux éléments du récit sont issues directement des concepts abordés par les répondants. Le chercheur ne doit donc pas tenir compte de ses idées préconçues sur les étiquettes qui apparaîtront lors de l'analyse. Bien sûr, il est possible que le chercheur ait malgré tout déjà une idée des réponses qu'il obtiendra, ou des attentes sur la parole des répondants. Cependant, il devra faire preuve d'une grande rigueur pour les laisser de côté (Clarke, 2005).

Afin de contrôler le biais de ces possibles idées préconçues, nous avons réalisé une analyse systématique et rigoureuse en plusieurs étapes. Nous décrivons dans les sections suivantes les trois phases d'attribution des étiquettes et le traitement des informations récoltées qui en a découlé (Figure 46).

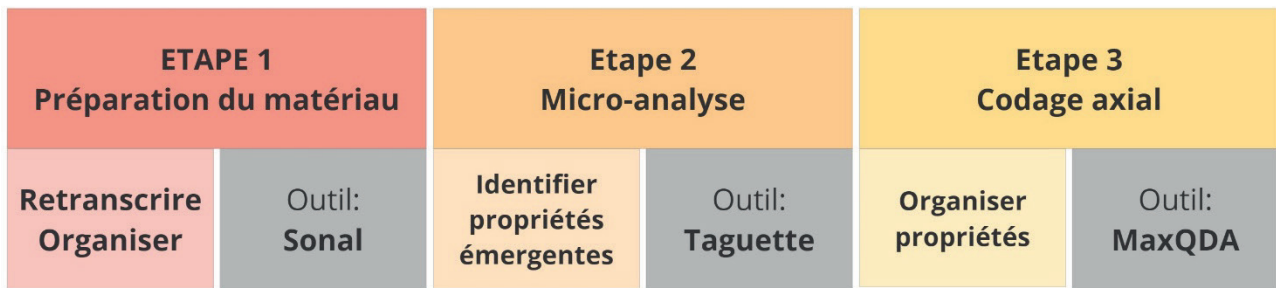


Figure 46 - Processus d'analyse des propos récoltés lors des entretiens

### 5.4.1 Première étape de traitement : Préparation du matériau

La première phase a constitué en la retranscription des entretiens à l'aide du logiciel Sonal<sup>1</sup>. L'ensemble des entretiens représente 14 heures et 12 minutes d'enregistrement et 218 pages de verbatims retranscrits.

Cette étape comporte deux objectifs (Figure 47). Le premier est de retranscrire la parole des concepteurs à partir des documents audios récoltés lors des entretiens afin d'obtenir un compte-rendu écrit complet des entretiens. Ce compte-rendu servira de base à l'analyse de l'étape 2. Le deuxième objectif est d'organiser les verbatims des répondants selon les thématiques du guide d'entretien. En effet, étant donné notre recours à des entretiens semi-directifs, tous les sujets que nous devons aborder avec les répondants n'ont pas toujours été amenés dans le même ordre. Cette étape permet donc d'organiser les verbatims récoltés autour des thématiques visées par le guide d'entretien.

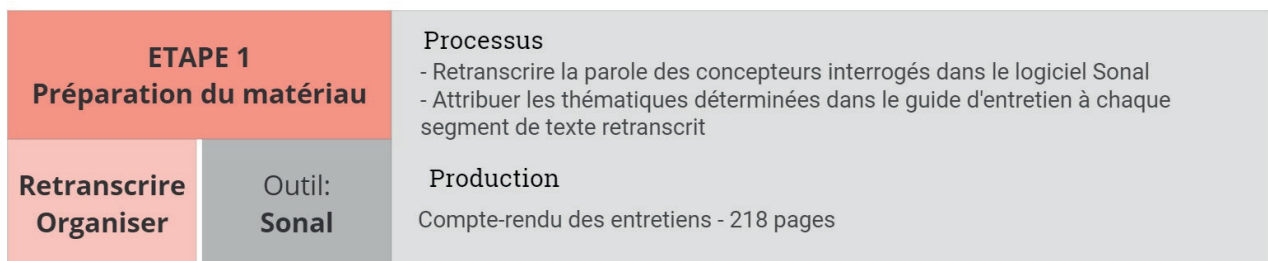


Figure 47 - Première étape du processus d'analyse des entretiens

Pour faire cela, nous avons utilisé le logiciel Sonal, qui est ce qu'on appelle dans la littérature un logiciel CAQDAS (Computer Assisted Qualitative Data Analysis Software) (Figure 48). Ce type de logiciel a pour objectif d'analyser le discours produit lors du recours aux méthodes qualitatives. Sonal est un logiciel dit « muet », c'est-à-dire qu'il ne suggère pas au chercheur des recoupements de thématiques ou de concepts. C'est le chercheur qui lit, traite et analyse les verbatims récoltés afin d'interpréter le vécu des acteurs (Lejeune, 2017). Ce logiciel en particulier permet d'écouter la bande sonore et de retranscrire en même temps, ce qui est idéal pour répondre à notre premier objectif. De plus, le logiciel permet de découper simultanément les bandes sonores et la retranscription associée, afin de leur attribuer des thématiques (Rioufreyt, 2019).

<sup>1</sup> Logiciel de retranscription développé par Alex Alber en 2009, disponible au téléchargement via ce lien : <http://www.sonal-info.com/>

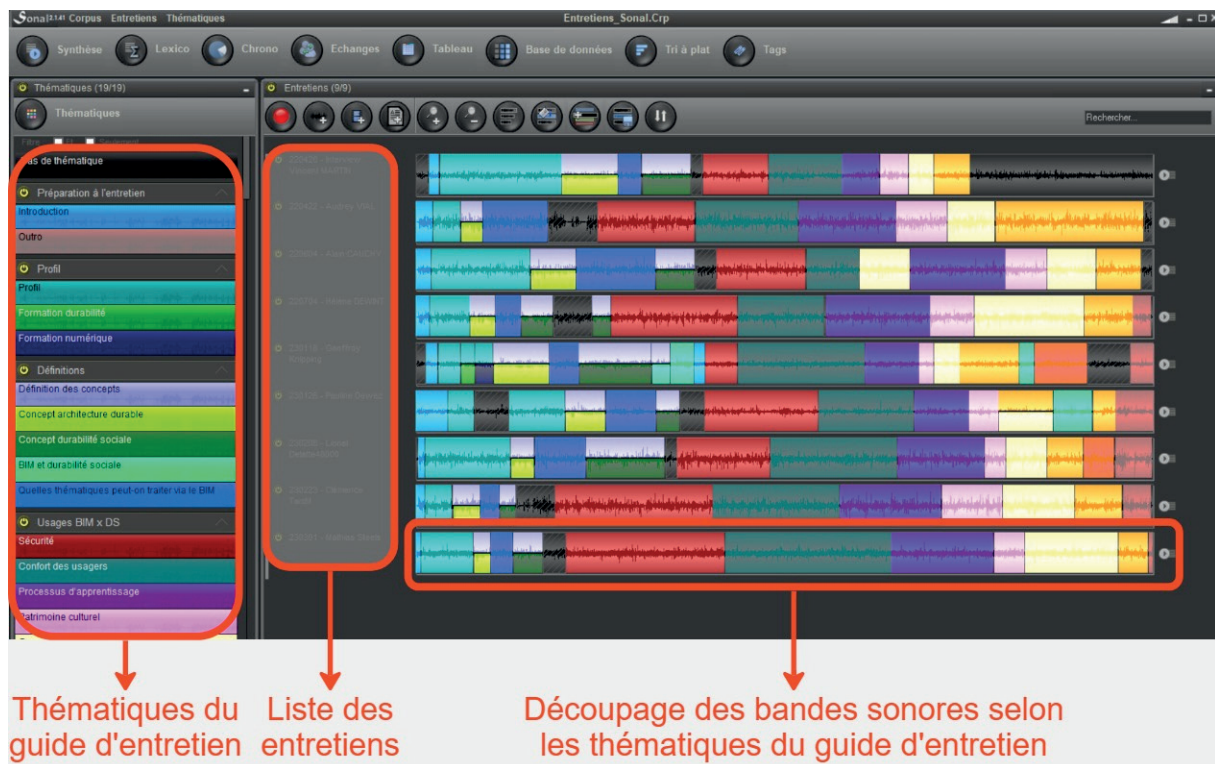


Figure 48 - Aperçu du logiciel Sonal

Dans le logiciel Sonal, nous avons réalisé une première étape d'analyse grâce à des codes couleurs. Chaque segment audio est découpé par thème et attribué à un code permettant d'identifier la thématique traitée dans le segment audio correspondant. Ces codes sont répartis en plusieurs catégories : « Préparation à l'entretien », « Profil », « Définitions » et « Usages BIM x DS » (Tableau 23).

Nom de la catégorie	Contenu de la catégorie
<b>Préparation à l'entretien</b>	Présentation, introduction et clôture des entretiens
<b>Profil</b>	Profil des répondants, informations sur leur formation générale et leur maîtrise du numérique
<b>Définitions</b>	Première partie de l'enquête sur les définitions de l'architecture durable et la durabilité sociale
<b>Usages BIM x DS</b>	Deuxième partie de l'enquête sur la perception de l'ancrage des usages BIM pour la durabilité sociale dans la pratique des répondants.

Tableau 23 - Catégories appliquées dans Sonal et leurs contenus

Ces catégories sont elles-mêmes divisées en thématiques correspondant plus finement aux questions de l'enquête, que nous développerons dans les sections suivantes. Cette première étape permet d'organiser le travail pour ensuite commencer à analyser le matériel récolté. Elle a donné lieu à un compte-rendu de terrain de 218 pages reprenant les verbatims exacts utilisés par les répondants lors des entretiens (Annexe 2).

## 5.4.2 Deuxième étape de traitement : Micro-analyse

La seconde phase d'analyse a consisté en la réalisation d'une micro-analyse de nos entretiens à travers un codage ouvert. Cette étape correspond à la recherche du sens attribué par le répondant à chacun de ses propos, et nécessite pour le chercheur de se placer en immersion dans le matériau, afin de mettre en lumière les propriétés émergentes de la parole récoltée :

*« La micro-analyse procède de l'examen approfondi des premiers extraits du matériau collecté. (...) Pour ce faire, l'analyste en ralentit délibérément la lecture. Il s'arrête sur chaque mot, sur chaque ligne ou sur chaque épisode et en explicite précisément tous les sens possibles. » (Lejeune, 2019, p. 43)*

L'objectif de cette étape est d'identifier les propriétés émergentes du matériau qui a été retranscrit à l'étape précédente (Figure 49). Les propriétés émergentes sont des caractéristiques qui se révèlent après une analyse approfondie des données, car elles ne sont pas visibles au premier abord (Miles et al., 2020). A cette étape, le critère d'attribution d'un code était l'apparition d'idées nouvelles : chaque verbatim dont le sens donné par le répondant correspondait à une nouvelle idée se voyait attribuer un code exprimant ce sens. Pour faciliter l'analyse lors de la troisième étape, chaque idée qui se répétait était également assimilée à un code, ce qui nous a permis de produire à la fin de cette étape une liste de codes associée à leur récurrence dans le document.

<b>Etape 2 Micro-analyse</b>		<b>Processus</b> - Réaliser un codage ouvert des entretiens : rechercher le sens des verbatims récoltés - Attribuer un (ou plusieurs) code(s) à chaque verbatim évoquant une idée
<b>Identifier propriétés émergentes</b>	<b>Outil: Taguette</b>	<b>Production</b> Liste de codes

Figure 49 - Deuxième étape du processus d'analyse des entretiens

Pour réaliser cette phase, nous avons utilisé le logiciel Taguette<sup>2</sup> (Rampin & Rampin, 2021), qui permet d'attribuer un code, appelé tag dans ce logiciel, à chaque mot, phrase ou paragraphe (Figure 50). Dans le logiciel Taguette, plusieurs codes peuvent être attribués à une même portion de texte, mais les codes ne peuvent pas être organisés entre eux. Cette contrainte permet d'éviter la tentation de déjà commencer à organiser les codes entre eux et incite à se focaliser entièrement sur le sens proposé par le répondant, en favorisant une immersion complète et la mise à distance (Lejeune, 2019) avec les potentielles attentes et les présupposés qui peuvent influencer le chercheur dans son analyse.

<sup>2</sup> Logiciel d'analyse qualitative développé par Remi Rampin et Vicky Rampin en 2021, disponible au téléchargement via ce lien : <https://www.taguette.org/fr/>



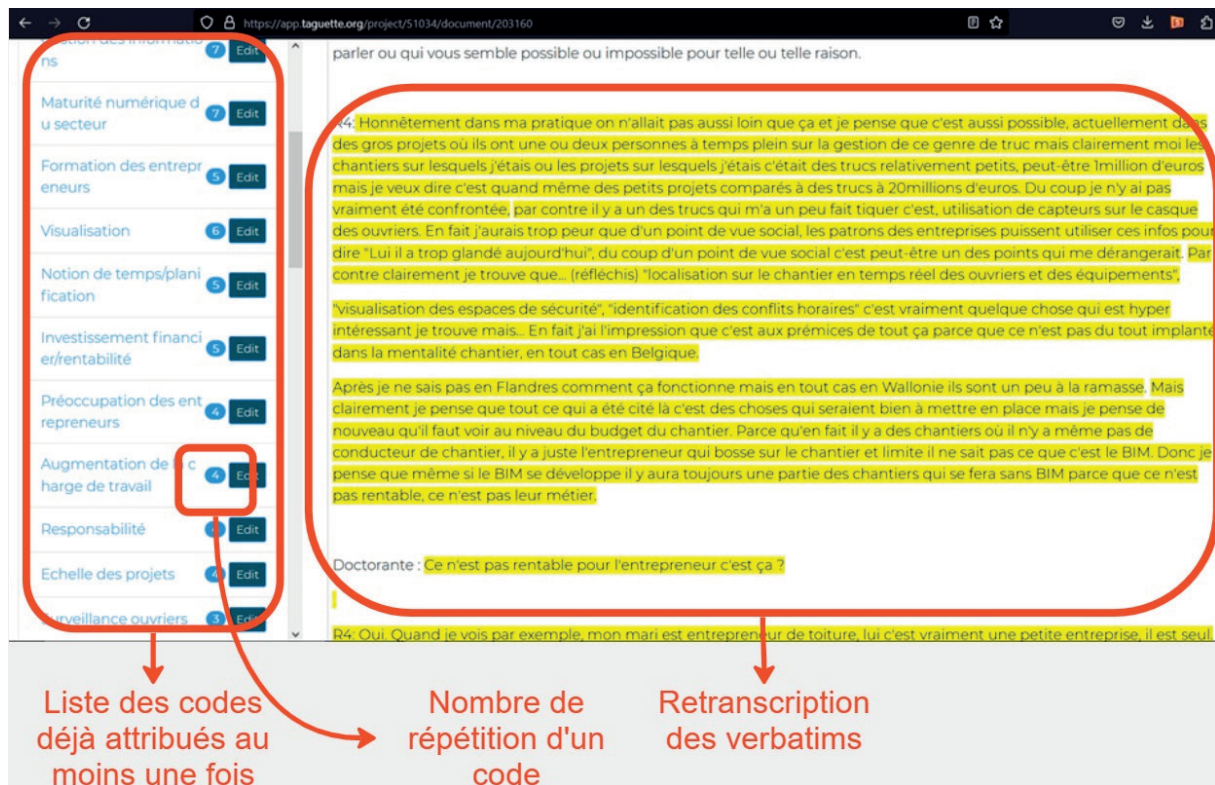


Figure 50 - Extrait du logiciel Taguette

Cette micro-analyse a été réalisée pour chaque thématique issue des catégories identifiées dans la deuxième phase et a donné lieu à un compte-rendu de codage reprenant des listes de codes classés par ordre d'occurrence, du plus récurrent au moins récurrent (Annexe 3). Ces codes représentent les propriétés qui émergent du matériau récolté. A cette étape, la notion de récurrence n'a pas été exploitée pour créer des catégories. Elle a cependant été recensée dans le but de faciliter la troisième étape du travail, chaque code étant assimilé à un nombre de répétition.

### 5.4.3 Troisième étape : Codage axial des propriétés et organisation des étiquettes

Le codage axial permet d'articuler entre elles les propriétés découvertes dans la phase précédente (Lejeune, 2019). L'objectif de cette étape est de réaliser un tri dans les codes produits lors de l'étape précédente en les classant par catégories et en donnant du sens à ces catégories (Figure 51). A ce moment, il peut être pertinent de réévaluer la nomenclature des codes afin de faire mieux correspondre ces derniers aux subtilités exprimées par les répondants. Des codes peuvent être scindés en plusieurs parties ou sous-parties, ou au contraire être regroupés. Une fois que la nomenclature est fixée, les codes peuvent être organisés en ensembles thématiques.

<b>Etape 3 Codage axial</b>		<b>Processus</b> - Trier les codes en les classant par catégories - Réévaluer les codes (éventuellement les renommer, les scinder ou les regrouper) - Organiser des ensembles de codes faisant émerger des ensembles thématiques
<b>Organiser propriétés</b>	Outil: <b>MaxQDA</b>	<b>Production</b> Schémas conceptuels

Figure 51 - Troisième étape du processus d'analyse des entretiens

Dans cette phase, nous avons utilisé un troisième logiciel, MAXQDA<sup>3</sup>, qui est un logiciel CAQDAS permettant d'analyser de manière poussée des entretiens qualitatifs (Figure 52). Nous avons réalisé sur MAXQDA l'organisation et le tri des propriétés identifiées dans la phase précédente en les classant en catégories. Au cours de ce tri, un processus itératif de classement, regroupement, suppression et ajout de certains codes a été réalisé. Les propriétés ont ensuite été organisées sous forme d'ensembles.

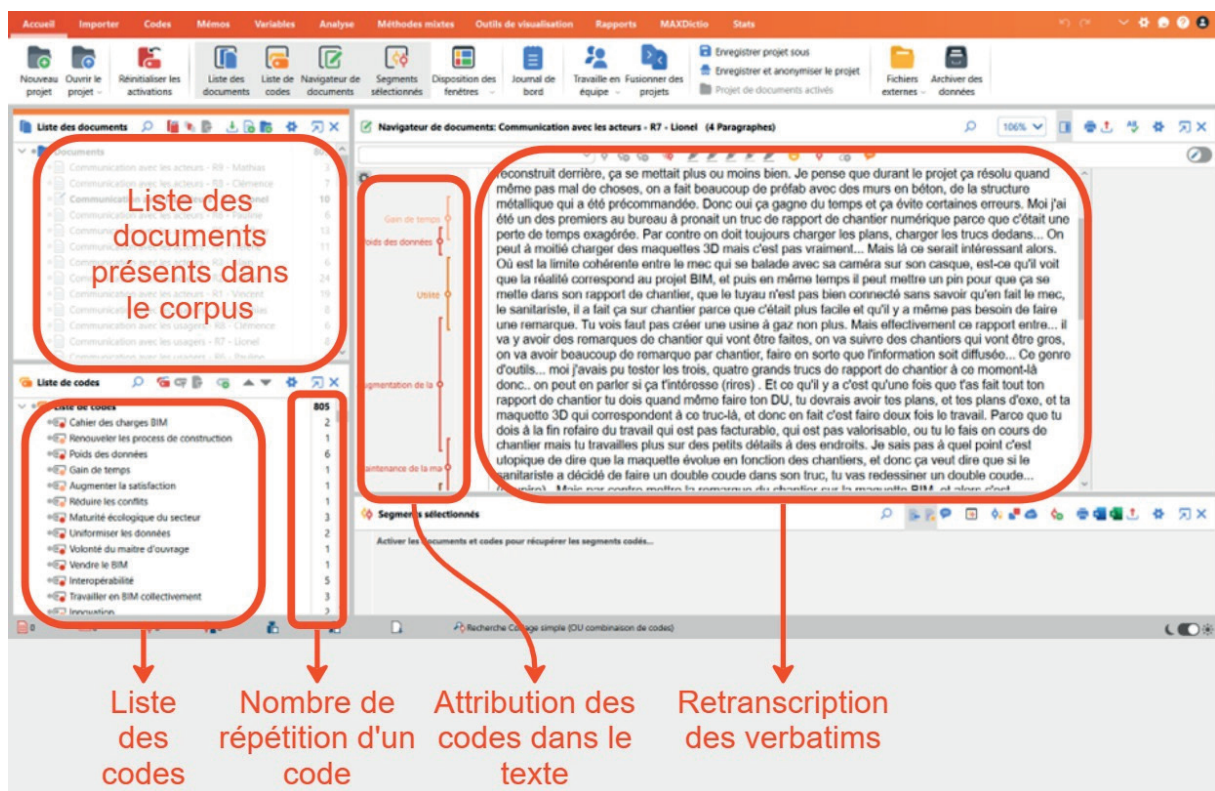


Figure 52 - Extrait du logiciel MAXQDA

Certains codes ont été renommés au cours du processus, afin qu'ils correspondent le plus possible à l'intention verbalisée par le répondant. D'autres codes ont été supprimés car ils ne permettaient pas de mettre en valeur un fait nouveau. Les étiquettes formulées sous forme de verbes ont été favorisées, car ces dernières permettent d'inclure une intention, une direction d'interprétation, en plus d'un thème abordé. D'autres étiquettes sont choisies in vivo, elles reprennent les mots exacts d'un ou plusieurs acteurs (Lejeune, 2019).

<sup>3</sup> Logiciel d'analyse qualitative développé par VERBI depuis 1989, disponible au téléchargement via ce lien : <https://www.maxqda.com/fr>

Le processus utilisé au cours de ces entretiens a donc été itératif, se déroulant en plusieurs phases répétées de récolte, analyse et adaptation du guide d'entretien (Figure 53).

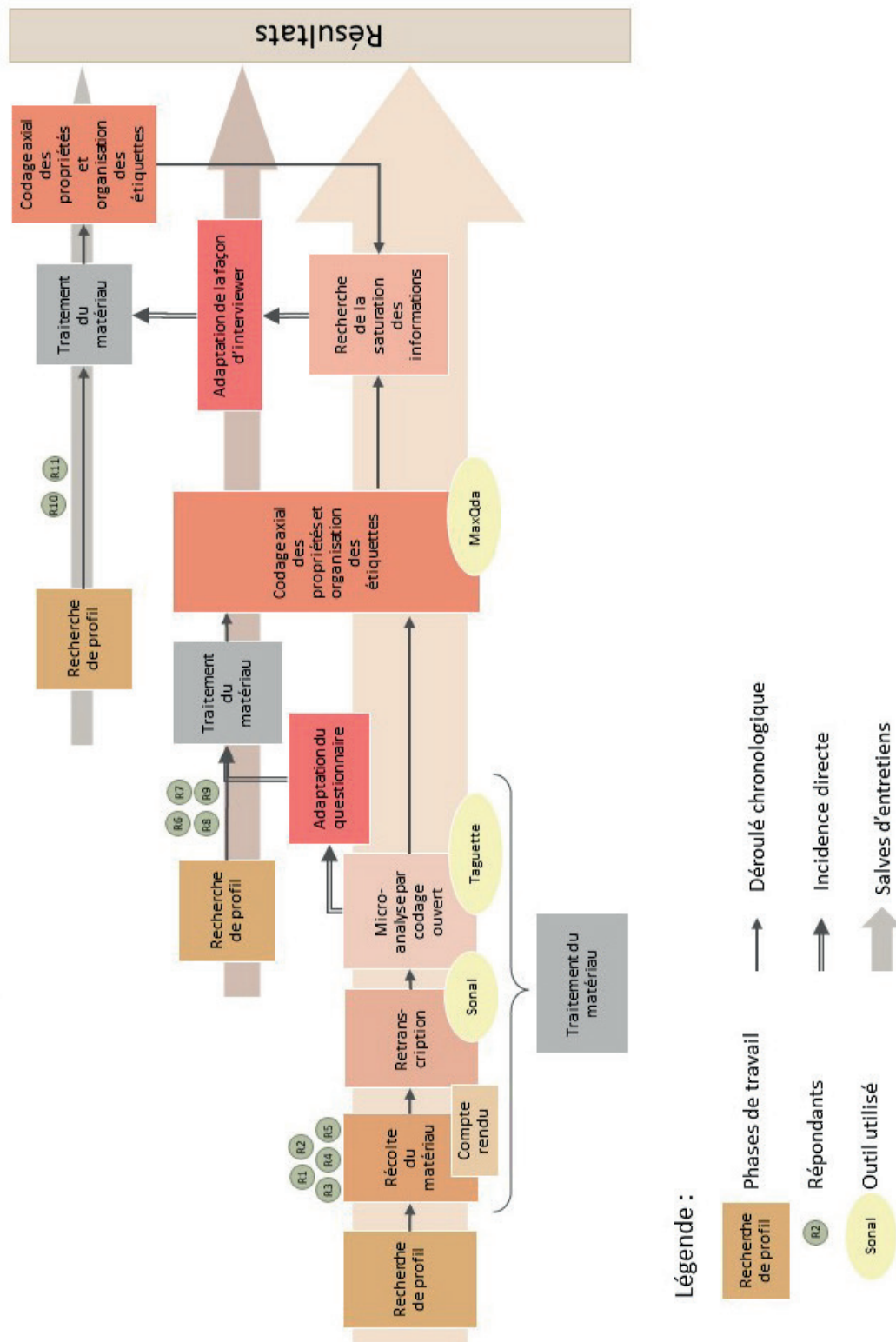


Figure 53 - Schéma du processus de conduite et d'analyse des entretiens

Une fois ce processus terminé, des liens ont pu être mis en évidence entre les différentes informations, notamment à travers les outils d'analyse proposés par le logiciel. Des schémas conceptuels ont été produits à des fins d'analyse et de croisement des informations (Figure 54)<sup>4</sup>. Ces schémas sont utilisés dans les sections suivantes pour exprimer les liens observés entre les différents codes et ensembles de codes. Ces cartes conceptuelles sont des outils de communication qui peuvent être utilisés pour présenter les résultats d'une recherche (Prévost & Jacobi, 1994). Cet outil, s'appuyant sur les théories pédagogiques constructivistes et cognitives, permet d'organiser les connaissances et de plus facilement les mémoriser (Meyer, 2010).

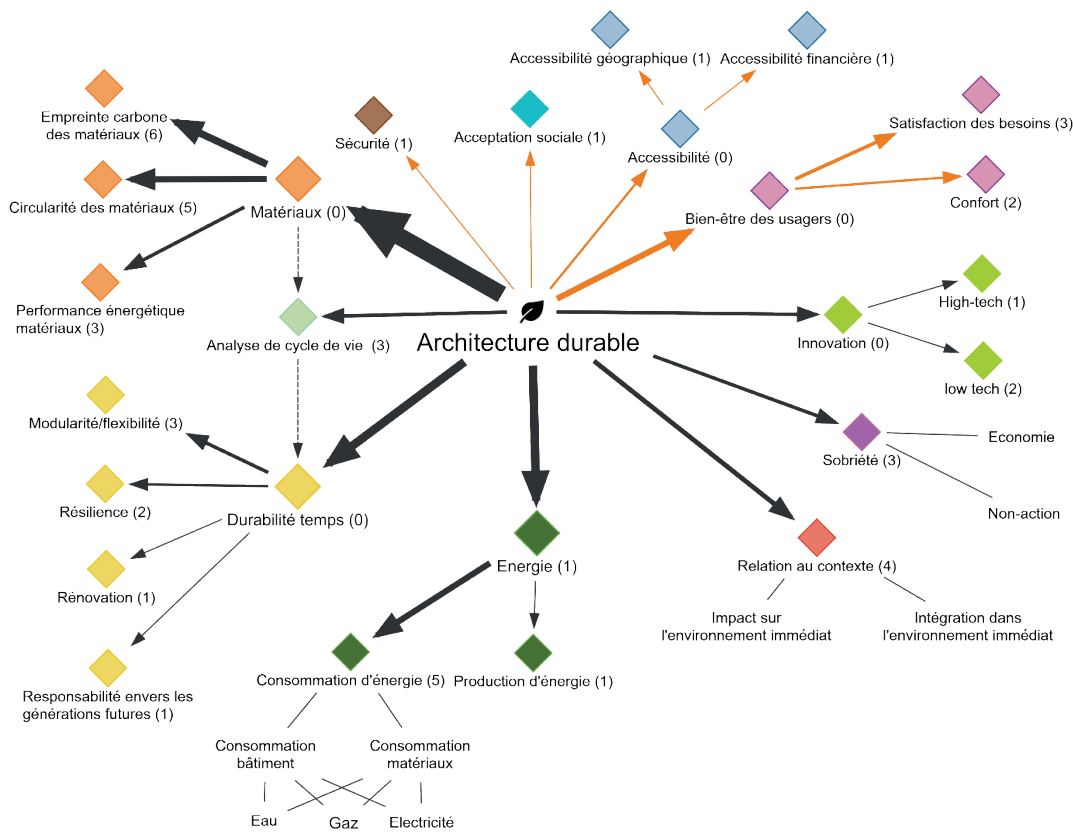


Figure 54 - Exemple d'une carte conceptuelle produite dans le cadre de l'analyse de nos entretiens

<sup>4</sup> La légende proposée pour lire ce schéma est disponible dans la Figure 56, en page 145 de ce manuscrit.

## 5.5 Saturation des informations

La saturation des informations est un outil permettant d'évaluer la validité des résultats lors qu'une enquête qualitative. On parle de saturation lorsque les données recueillies n'apprennent plus de nouvelles informations, ou presque plus (Kaufmann & Singly, 2016). Lorsque la saturation est atteinte, cela signifie qu'une diversité maximale est atteinte dans les données en relation avec un phénomène étudié (Mucchielli, 2009).

Nous avons réalisé une analyse de la saturation des informations pour confirmer que le nombre d'entretiens réalisés était suffisant pour être considéré comme suffisamment riche. En effet, une approche qualitative ne requiert pas un grand nombre d'entretiens, cependant un nombre trop faible limite la richesse des conclusions. Il est considéré qu'une douzaine d'entretiens permet d'atteindre en moyenne 70% des informations (Griffin & Hauser, 1993).

*« Compte-tenu des surcoûts importants engendrés par la multiplication des entretiens, la fourchette convenable se situe entre 12 et 15, avec un minimum de 7 et un maximum de 20 » (Leleu-Merviel, 2008, p. 73)*

Nous avons réalisé 11 entretiens, ce qui est inférieur d'un entretien par rapport à ce que Sylvie Leleu-Merviel définit ci-dessus comme la « fourchette convenable ». Cependant, nous avons choisi de nous arrêter à ce nombre après avoir vérifié la saturation des informations de manière méthodique à travers le recensement, dans des tableaux Excel, de la quantité de nouveaux codes découverts dans chaque entretien (Figure 55). Le détail des codes utilisés par chaque répondant est disponible dans l'annexe 4.

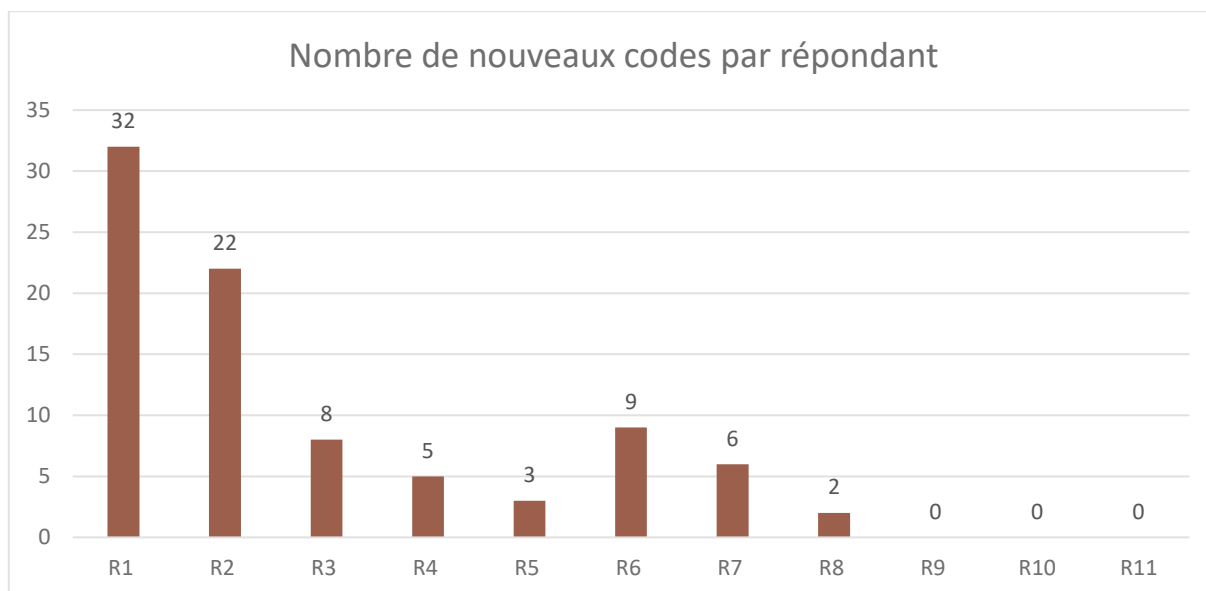


Figure 55 - Nombre de nouveaux codes par répondant

On peut observer une diminution progressive du nombre de codes de l'entretien 1 à l'entretien 5, puis un pic à l'entretien 6 suivi d'une nouvelle diminution progressive tendant vers 0 nouveau code. Ce pic correspond à la modification du guide d'entretien qui a eu lieu à la suite de l'analyse des 5 premiers entretiens. Une seconde analyse a été réalisée après le 9<sup>ème</sup> entretien mais n'a pas donné lieu à un nouveau pic dans le nombre de nouveaux codes pour les entretiens 10 et 11.

A partir du neuvième entretien, plus aucun nouveau code n'a été relevé, ce qui signifie qu'il n'y a plus eu d'information nouvelle dans les réponses obtenues lors des entretiens. Cette analyse a été réalisée après avoir mené les 9 premiers entretiens. Ayant observé trois entretiens consécutifs dans lesquels aucun nouveau code n'était présent, nous avons pris la décision de mettre fin à la phase d'enquête. De plus, nous avons volontairement sélectionné des profils variés, ce qui est un critère important permettant d'enrichir les données dans les enquêtes qualitatives (Morse, 1995) et qui permet de consolider nos résultats.

## CHAPITRE 6 : ENQUÊTE PARTIE 1 - QUELLE EST LA PLACE DE LA DURABILITÉ SOCIALE DANS LA REPRÉSENTATION QUE SE FONT LES CONCEPTEURS DE L'ARCHITECTURE DURABLE ?

Dans le chapitre 2, nous avons étudié les approches définitionnelles de l'architecture durable et de la durabilité sociale en architecture. Ces approches sont théoriques, et sont nécessaires pour cadrer le travail en définissant clairement ce que nous voulons signifier lorsque nous utilisons les concepts d'architecture durable et de durabilité sociale.

Cependant, ces définitions ne permettent pas de rendre compte de la représentation que se font les concepteurs de l'architecture durable en général, et plus spécifiquement de l'architecture socialement durable. Or, avant de chercher à connaître l'état d'acceptation de l'emploi du BIM pour améliorer la durabilité sociale, nous devons savoir comment le concept de durabilité sociale est accepté par les concepteurs du secteur de la construction.

Cette première partie de l'enquête constitue une enquête par entretien à usage principal.

*« Ce sont les enquêtes dont l'entretien constitue le mode de collecte principal de l'information. Cet usage suppose que les hypothèses aient été dégagées et agencées en présuppositions explicatives. » (Blanchet & Gotman, 2017, p. 42)*

Notre hypothèse de départ est que le sujet de la durabilité sociale n'est pas un des éléments principaux dans la représentation que se font les concepteurs de l'architecture durable. Nous posons cette hypothèse à la suite des observations que nous avons faites dans les chapitres précédents quant au traitement secondaire de la durabilité sociale qui est récurrent dans les démarches visant à qualifier la durabilité d'un phénomène.

## 6.1 Profils cibles

Pour juger du niveau d'acceptabilité de ces deux concepts, nous avons réalisé une enquête auprès de concepteurs exerçant leur métier en Belgique ou en France. Deux conditions ont été choisies pour sélectionner les profils de répondants.

La première est d'exercer soit en France, soit en Belgique. Le choix de se tourner vers des profils belges et français a été déterminé par l'origine des financements de cette recherche, qui proviennent de l'Université Polytechnique des Hauts-de-France en France et de l'Université de Mons en Belgique. La seconde est de faire partie d'une équipe de conception de projet de construction. Tous les profils sélectionnés sont des acteurs du milieu de la construction et ont une formation soit d'architecte, soit d'ingénieur (Tableau 24).

<b>Répondants</b>	<b>France</b>	<b>Belgique</b>	<b>Architecte</b>	<b>Ingénieur</b>
R1		X	X	
R2	X			X
R3	X			X
R4		X	X	
R5		X		X
R6		X		X
R7		X	X	
R8	X		X	
R9		X	X	
R10		X	X	
R11		X	X	

Tableau 24 - Profils des répondants de l'enquête partie 1

Cette partie de l'enquête est menée à l'aide d'entretiens semi-directifs et porte sur la représentation que se font les acteurs du concept de la construction durable et de la durabilité sociale. Pour ne pas induire de biais dans les réponses, les répondants n'ont pas été informés, au préalable de l'enquête, que notre recherche portait spécifiquement sur la durabilité sociale dans la construction. En effet, au moment de la prise de contact, il n'est pas mentionné aux répondants que la recherche est axée sur la durabilité sociale dans la construction. Seuls les mots « BIM et pratiques durables » sont utilisés pour qualifier la recherche.



## 6.2 Guide d'entretien

Pour vérifier la place accordée par les concepteurs à la durabilité sociale dans leur vision de l'architecture durable, nous avons demandé aux répondants de donner leur définition de l'architecture durable et de la durabilité sociale.

Trois questions sont posées dans cet ordre aux répondants :

- Quelle est votre définition de l'architecture durable ?
- Quelles thématiques liées à la durabilité peuvent selon vous être traitées avec le BIM ?
- Quelle est votre définition de la durabilité sociale ?

L'ordre de ces questions ne peut être modifié. En effet, la première question nous a servi à révéler ce qu'évoque l'architecture durable pour les concepteurs dans le but de vérifier si des éléments associés à la durabilité sociale trouvaient place dans ces représentations. Au moment de poser cette question, les répondants ne sont pas informés du sujet de notre enquête. Cependant, après avoir répondu à la question, nous les informons que l'architecture durable est selon nous :

*« une architecture socialement équitable, écologiquement soutenable et économiquement viable, du low-tech au high-tech (...) [qui s'organise autour du] concept de soutenabilité mettant en avant à la fois l'impératif de durabilité des projets dans le temps, et celui d'acceptabilité sociale et environnementale » (Perysinaki, 2012, p. 7).*

Cette information que nous donnons aux répondants n'introduit pas de biais dans leur réponse quant à la définition de l'architecture durable car elle est donnée après avoir obtenu la réponse à la première question de l'entretien. Cependant nous avons choisi de leur fournir cette définition avant qu'ils ne répondent à la deuxième question. Cela permet d'éviter de créer un biais de vocabulaire qui pourrait masquer des éléments qui font partie de l'architecture durable mais qui ne sont pas identifiés comme tels par les répondants.

La deuxième question a pour but d'identifier des liens entre la durabilité et le BIM. Au moment de répondre à cette question, les répondants ont déjà eu l'occasion d'entendre le concept de la durabilité sociale lorsque nous leur avons donné notre définition de l'architecture durable. Il est donc possible qu'ils pensent à des éléments de durabilité sociale, mais nous n'avons pas insisté sur cette notion, ils sont donc totalement libres de citer d'autres éléments liés à la durabilité en général. L'objectif de cette question est de vérifier si, après avoir eu brièvement en tête une définition évoquant entre-autres la durabilité sociale, les répondants peuvent trouver spontanément des liens entre BIM et durabilité, et/ou BIM et durabilité sociale. Nous avons fait ce choix car notre hypothèse de départ était que la durabilité sociale ne ressortirait pas ou très peu dans les définitions de l'architecture durable, et nous ne voulions pas que les répondants excluent le volet social de leurs éléments de réponse simplement parce qu'ils ne l'auraient pas associé à l'architecture durable.

La troisième question achève de dévoiler les thèmes de notre recherche en demandant aux répondants de définir la durabilité sociale. Cette question nous a permis de déterminer le niveau de connaissance des répondants sur le sujet de la durabilité sociale dans la construction. Afin de pouvoir continuer l'entretien, si les répondants ne parviennent pas à répondre à la question, nous leur donnons plusieurs mots-clés permettant de se faire une idée du concept. Ces mots-clés ont été choisis à la suite du travail de définition réalisé dans le chapitre 2 et sont : « bien-être, participation, accessibilité, relations humaines, équité ».

Le guide d'entretien complet utilisé lors des interviews est disponible en annexe 5 de ce travail. L'analyse de cette première partie s'est déroulée comme décrit dans la section « Traitement du matériau récolté » rédigée ci-dessus. Les résultats qui ressortent de cette partie de l'enquête ont été organisés en trois parties, selon les trois questions proposées dans le guide d'entretien.

### 6.3 Première question : définition de l'architecture durable

La première question que nous posons lors de l'entretien vise à déterminer les concepts qui font partie de la définition que se font les concepteurs de l'architecture durable. En posant cette question, nous souhaitons savoir si des concepts liés à la durabilité sociale font partie des représentations de l'architecture durable pour les concepteurs. Avant de décrire les concepts qui ressortent de cette enquête, nous souhaitons signaler que plusieurs acteurs ont mentionné l'aspect multifactoriel de la durabilité en architecture et la difficulté que cela pouvait engendrer de définir le concept.

*« Enfin voilà, j'ai quand même une vision holistique, je vais pas dire BREEAM mais je sais que c'est pas un paramètre qui fait qu'un bâtiment est durable. (...) les définitions c'est compliqué, pour moi c'est multi-factoriel ». (R1, architecte)*

D'ailleurs, la majorité des répondants a hésité avant de formuler une réponse, avant de faire allusion soit à la grande quantité d'informations qui leur venaient à l'esprit, soit à leur volonté de ne pas proposer une réponse trop évidente. Dans les deux cas, les répondants semblaient craindre d'oublier des éléments de réponse, de ne pas être assez complets dans leur réponse. Ce sentiment était parfois accompagné d'une forme de gêne, exprimée par des longs blancs ou des rires.

*« Ne dis surtout pas que c'est juste parce que tu récupères les matériaux (rires) (...) (rire) J'adore ce genre de questions pièges... » (R1, architecte)*

*« (rires) C'est sûr que je ne vais pas dire tout ! » (R6, ingénieure)*

Cependant, malgré cette potentielle difficulté que les répondants pouvaient éprouver à répondre à la question, plusieurs concepts ressortent de l'analyse des réponses à cette question. Nous les développons dans les sections suivantes. Comme décrit dans le chapitre 5, nous faisons appel à des cartes conceptuelles pour analyser les éléments de réponse que nous avons récoltés. Pour chacune de ces cartes, l'épaisseur des traits reliant les éléments entre eux est fonction du nombre de fois où le concept a été abordé dans les entretiens. La légende ci-dessous est d'application pour tous les schémas contenus dans ce chapitre (Figure 56).

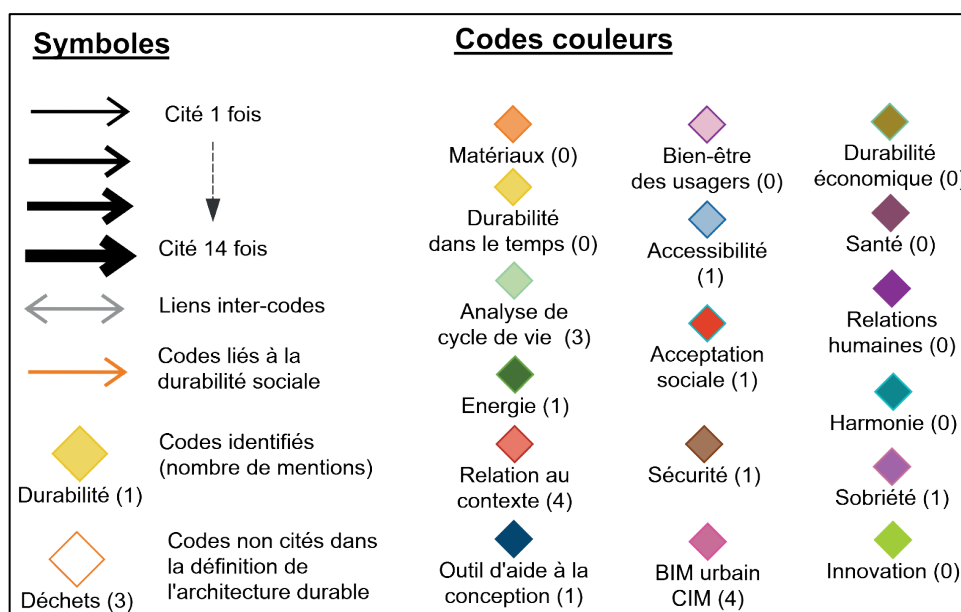


Figure 56 - Légende des schémas conceptuels - Enquête partie 1

### 6.3.1 Critères ayant trait à la durabilité écologique et à la durabilité dans le temps

Comme l'indique notre hypothèse de départ, nous supposons que les éléments de réponse qui ressortiraient le plus seraient liés principalement à la durabilité écologique. Cela s'est en partie vérifié en analysant les entretiens, puisque nous avons effectivement observé qu'une partie des répondants ne mentionne qu'exclusivement des thématiques liées soit à la durabilité écologique, soit à la durabilité dans le temps. Ces thématiques sont, par ordre de fréquence de citation : les matériaux, la durabilité dans le temps, l'énergie, la relation au contexte, la sobriété et l'innovation.

La thématique qui est le plus citée est celle des matériaux. Cette thématique n'est pas abordée de manière directe par les répondants, mais elle est évoquée à travers les concepts de circularité des matériaux, d'empreinte carbone des matériaux, et de performance énergétique des matériaux. La circularité des matériaux est évoquée sous la forme du recyclage, de l'économie circulaire, de cycle de vie des matériaux et du réemploi.

*« (...) pouvoir récupérer l'entièreté des matériaux pour qu'il reparte dans un autre, on dit "cycle de vie", mais moi j'aime pas trop le côté "cycle de vie", c'est plus "cycle d'utilisation" je trouve ça plus cohérent. Parce qu'il y a pas vraiment de fin de vie ou d'obsolescence programmée sur des matériaux » (R7, architecte)*

*« Quelques fois on va penser que c'est écologique mais c'est pas ce sens-là, c'est pas parce que tu utilises beaucoup de bois que c'est le meilleur choix, quand tu regardes vers une circularité c'est parfois mieux d'utiliser un profil en acier plutôt que le bois parce que tu peux réutiliser ça plusieurs fois et tout ça » (R9, architecte)*

Les répondants font également référence à l'empreinte carbone des matériaux et l'impact global du bâtiment en citant les matériaux biosourcés comme solution, ainsi que le transport des matériaux.

*« Imaginons, dans le cas d'une nouvelle construction qu'on souhaiterait durable, pour moi c'est essayer d'intégrer des éléments à la construction, des matériaux, qui sont respectueux de l'environnement, donc essayer d'intégrer des matériaux par exemple biosourcés. » (R6, ingénieure)*

*« De premier abord c'est vrai que je pense plutôt à des matériaux comme la construction bois, et nous on est quand même assez souvent..., quand on fait du neuf on reste sur du béton et c'est pas très durable » (R8, architecte)*

*« "économie de transport" quand c'est pas des matériaux que tu fais venir de l'autre bout de la planète » (R7, architecte)*

Enfin, les capacités thermiques et qualités techniques des matériaux sont également abordées. Les répondants leur associent les concepts d'optimisation et de simulation.

« Donc, durabilité moi je la vois à travers la manière dont on va définir les éléments constructifs du bâtiment dans la maquette, le lien avec les matériaux, **comment optimiser par des calculs éventuellement de simulation ces préconisations en termes de matériaux à utiliser** au niveau de tous les éléments constructifs gros œuvre, second œuvre je le vois plutôt comme ça » (R2, ingénieure)

« Et la durabilité prend le côté "économie de basse énergie", mais tant basse énergie de production de matériaux que de consommation au sein du bâtiment. C'est pas pour ça qu'on doit sur-isoler des bâtiments mais **le côté thermique doit être réfléchi correctement, avec des inerties, avec certains types de matériaux qui rafraichissent...** » (R7, architecte)

Il y a donc trois thématiques qui se dégagent derrière le terme « Matériaux ». La première est celle de la circularité des matériaux, qui est abordée à travers les concepts de recyclage, d'économie circulaire, de cycle de vie et de réemploi. La deuxième est celle de l'empreinte carbone des matériaux. Les répondants y évoquent les matériaux biosourcés et le transport des matériaux. Et la troisième est celle de la performance énergétique des matériaux (Figure 57).

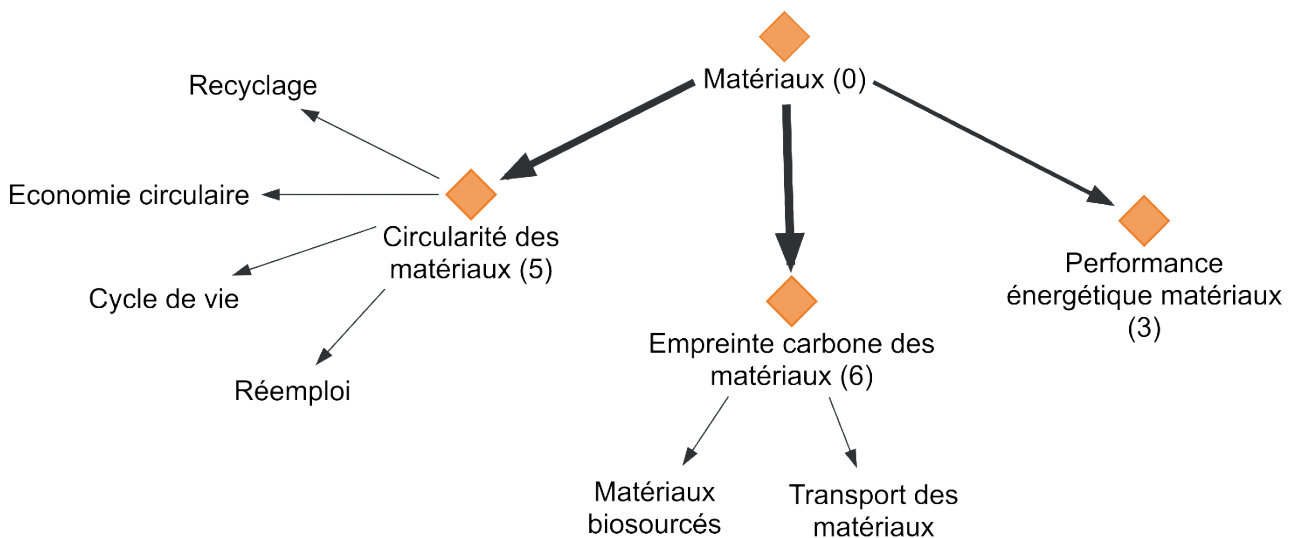


Figure 57 - Carte conceptuelle des items en lien avec la thématique des matériaux

La deuxième thématique qui revient dans une grande partie des entretiens est celle de la durabilité dans le temps et de la responsabilité envers les générations futures. Les répondants considèrent qu'un bâtiment durable doit pouvoir assumer ses fonctions sur une longue durée, et qu'il doit donc être conçu dès le départ pour faire face à des défis qui n'existent potentiellement pas encore.

« Pour nous l'architecture durable c'est une architecture qui permettra d'assurer à nos futurs locataires ce qu'on leur doit, c'est-à-dire **un confort d'usage sur la durée, tout le temps qu'ils restent dans nos logements** » (R3, ingénieur)

« C'est un peu en lien avec la circularité mais finalement ça devrait s'appliquer à toutes les autres thématiques, **c'est se projeter dans le temps**. Voir comment... et en fait on doit déjà quelque part le faire, quand on fait des analyses de risque climatique **on va voir dans le temps, avec l'évolution des risques climatiques, comment risque d'être impacté l'immeuble** » (R5, ingénieur)

« Une durabilité c'est un bâtiment qui peut continuer à **répondre aux besoins de ses utilisateurs dans le temps** » (R7, architecte)

Nous avons classé dans cette thématique le concept de résilience, et de la capacité du bâtiment à faire face aux enjeux induits par les dérèglements climatiques tels que les inondations ou les problèmes de surchauffe.

« ça rentre aussi dans ce qu'on doit aux locataires c'est-à-dire **une certaine résilience de leur logement, de leur bâtiment en cas d'inondations, mais en particulier aussi le confort d'été c'est-à-dire l'augmentation des températures** » (R3, ingénieur)

« c'est se dire aujourd'hui: "Ok aujourd'hui mon bâtiment il peut fonctionner avec des grandes baies vitrées, si je mets un peu de clim", et encore, "un peu", mais en fait **dans quelques années ça va vraiment devenir un problème**. » (R5, ingénieur)

Les répondants font également référence au fait de réfléchir dès la phase de conception à la modularité du bâtiment et à sa capacité à être flexible face aux besoins de ses occupants, qui peuvent évoluer dans le temps, dans le but que la durée de son utilisation soit la plus longue possible. Ensuite, une fois que le bâtiment doit être adapté à de nouveaux besoins, il doit pouvoir être transformé. A ce moment-là, c'est le concept de rénovation qui intervient et participe à la durabilité du projet.

« **Pouvoir se projeter dans le temps, ça me paraît vraiment très important. Aussi sur les différents usages, et là on rejoint vraiment l'économie circulaire, de dire ok aujourd'hui mon immeuble il va fonctionner comme bureau pendant quelques années, si on veut qu'il puisse être reconverti facilement dans une autre fonction il faut le prévoir dès aujourd'hui** » (R5, ingénieur)

« Et également dans les espaces, enfin peut-être de manière plus philosophique, **la durabilité c'est le fait qu'il soit flexible, penser à comment il pourrait évoluer dans le temps, le rendre adaptable pour qu'on doive pas le détruire dans x années, donc modulable, adaptable et aussi imaginer sa déconstruction**. » (R6, architecte)

« On fait beaucoup de réhabilitation dans mon agence. Et on utilise le BIM pour y arriver, et ça, ça fait partie de faire un développement d'architecture durable, **puisque on conserve l'existant et on le transforme pour avancer** » (R8, architecte)

La durabilité dans le temps fait ainsi référence pour les répondants à la responsabilité envers les générations futures, la modularité et la flexibilité, la résilience et la rénovation des bâtiments (Figure 58).

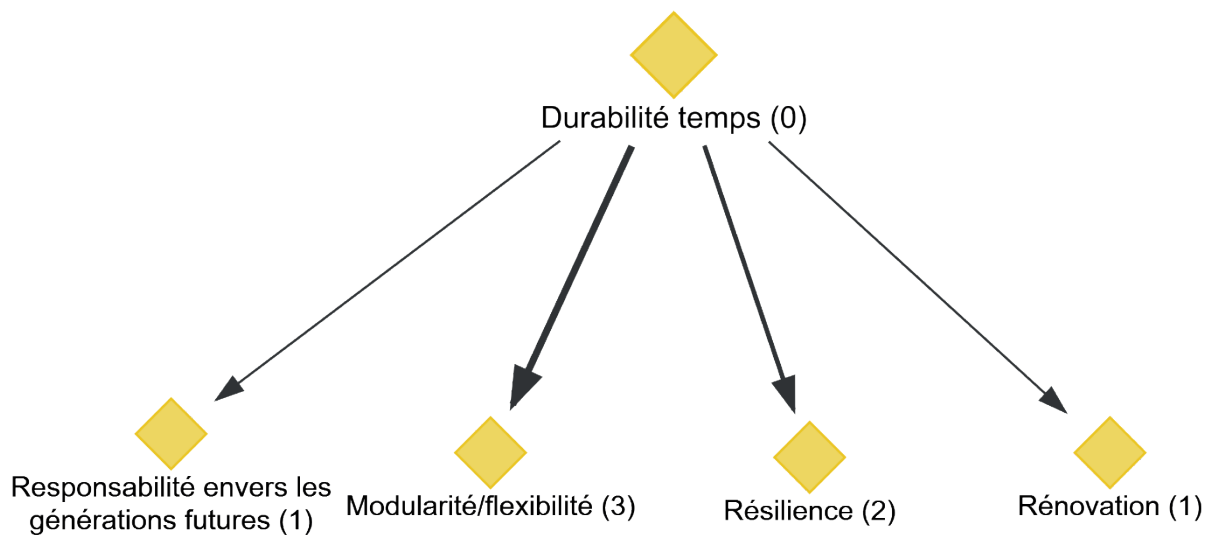


Figure 58 - Carte conceptuelle des items en lien avec la thématique de la durabilité dans le temps

Le concept d'analyse de cycle de vie apparaît lui aussi dans les réponses des personnes interrogées, et est quant à lui en lien à la fois avec celui de la circularité des matériaux et celui de la durabilité dans le temps, dans le but de réduire les impacts du bâtiment dans le temps. L'analyse du cycle de vie est donc dépendante du cycle de vie du matériau, et la circularité qui aura été prévue pour ce dernier au moment de la phase de conception, et cela influence la durabilité dans le temps du bâtiment (Figure 59).

*« Le cahier des charges était très orienté économie circulaire, aborder un peu la thématique cycle de vie avec l'outil Totem mais qui s'est avéré un peu compliqué à mettre en œuvre sur un projet d'une telle ampleur en fait, enfin il acceptait pas les projets de plus de 110 000 m<sup>2</sup> donc ça a été fait sur des parois de la construction pour identifier c'était quoi les meilleures solutions. » (R5, ingénieur)*

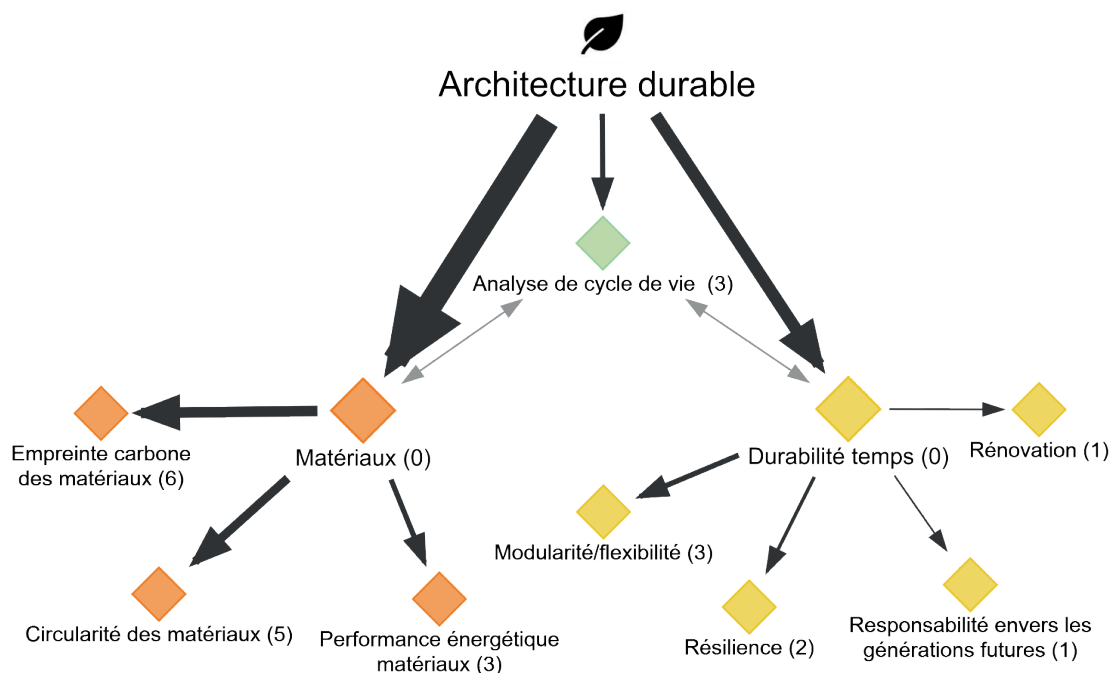


Figure 59 - Carte conceptuelle des liens entre le concept des matériaux, de l'analyse du cycle de vie et de la durabilité dans le temps

Le sujet de la consommation est évoqué à travers les consommations d'eau, de gaz et d'électricité, en tenant compte des énergies primaires et secondaires. La consommation du bâtiment est mise en avant, notamment à travers l'expression « basse énergie », mais les répondants évoquent également la consommation d'énergie nécessaire à la fabrication des matériaux utilisés dans la construction du projet.

*« Ce qui est la part majoritaire ce sont les consommations d'eau, d'électricité, de gaz, donc les consommations d'énergie. Donc forcément qu'on a une vision très énergétiqu e du caractère durable et des bâtiments donc dans la performance énergétique c'est un sujet. » (R2, ingénieur)*

*« Et la durabilité prend le côté "économie de basse énergie" mais tant basse énergie de production de matériaux que de consommation au sein du bâtiment » (R7, architecte)*

Le sujet de l'énergie est abordé par les répondants à la fois sous le prisme de la consommation et sous celui de la production. L'énergie est présentée par les répondants comme étant un sujet incontournable dans l'étude du caractère durable des bâtiments. La production d'énergie est abordée de manière plus prudente, et n'a été citée qu'une seule fois par un seul répondant, alors que celui de la consommation a été cité par près de la moitié des répondants. Le sujet de la consommation semble donc plus présent dans les représentations mentales que les répondants se font de l'architecture durable que celui de la production. La thématique de l'énergie est perçue par les répondants comme un sujet incontournable, mais malgré tout complexe, qui dépend de plusieurs facteurs et peut s'exprimer à plusieurs échelles de réflexion, de la plus précise (le matériau) à la plus globale (le bâtiment) (Figure 60).

*« Oui peut-être qui englobe un peu tout ce qui est panneau solaire et tout mais ça je sais pas si c'est la même thématique ou pas... » (R6, ingénieure)*

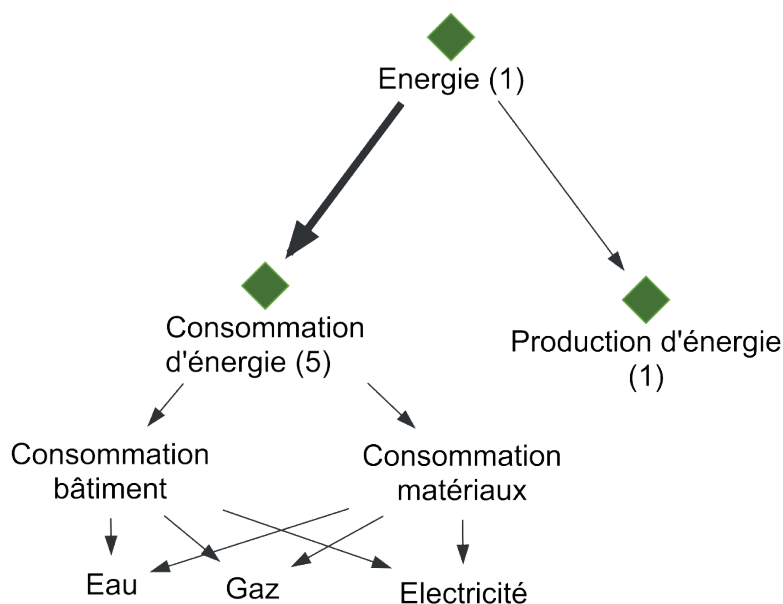


Figure 60 - Carte conceptuelle des items en lien avec la thématique de l'énergie



Les répondants proposent également le concept de la relation au contexte, qui est décrite comme correspondant à un impact du bâtiment qui soit minimum sur son environnement, mais aussi comme étant une conception qui s'intègre et profite de son environnement pour améliorer le projet, par exemple à travers le choix de l'orientation du bâtiment.

*« Pour moi c'est au-delà d'utiliser des matériaux biosourcés ou quoi mais c'est aussi **prendre en compte l'orientation de la maison**, vraiment l'environnement qu'il y a autour de la maison et faire des espaces qui ressemblent aux occupants » (R4, architecte)*

L'impact et l'intégration par rapport à l'environnement immédiat de la construction sont les deux approches citées par les répondants (Figure 61).

*« Evidement durable c'est aussi (...) "**qui n'impacte pas trop son contexte**" » (R1, architecte)*

*« C'est basse énergie, zéro énergie. C'est la circularité des matériaux. **Intégré dans l'environnement**. (Réfléchis) » (R9, architecte)*

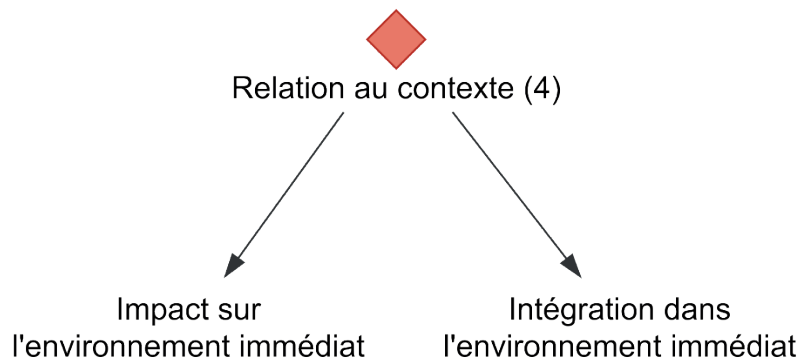


Figure 61 - Carte conceptuelle des items en lien avec la thématique de la relation au contexte

Un répondant estime que l'acte de construire va par défaut avoir un impact et ne peut donc pas être durable. Cette vision des choses est nuancée par un autre répondant qui préfère utiliser le terme « économie » au sens large. Nous avons regroupé ces deux propositions sous le concept de sobriété.

*« **L'architecture durable c'est celle qu'on ne construit pas...** ( ...) si vraiment on va dans les extrêmes, **la non-action sera toujours plus durable que faire quoi que ce soit** » (R1, architecte)*

*« Parce que **durabilité englobe tout le coté écologique, économie dans un sens "économie d'énergie", économie de moyen", "économie d'homme"** » (R7, architecte)*

L'un des répondants mentionne la nécessité pour les acteurs du secteur de se tenir sans cesse à jour dans l'évolution des technologies dans le but d'une amélioration continue. Ce concept d'innovation est abordé d'une part à travers les évolutions high-tech comme mentionné ci-dessous, et d'autre part à travers des approches plutôt centrées sur le low-tech. L'innovation semble cependant avoir moins de poids que les autres critères dans la perception qu'ont les répondants de l'architecture durable, car ce thème n'a été abordé que par les deux acteurs cités ci-dessous (Figure 62).

« *On essaie d'être toujours informés, être au courant des dernières évolutions, de qu'est-ce qu'on pourrait faire, de garder l'expérience des précédents projets pour voir comment on pourrait les améliorer* » (R5, ingénieur)

« *C'est pas nécessairement un truc qui est blindé de TS avec des ventilations dans tous les sens. Tout ce qui est un peu slow, low-tech, comme des free cooling et des choses comme ça, moi je suis assez pour, avec des énormes murs d'argile et des énormes trucs d'inertie thermique. Donc voilà la durabilité c'est pas nécessairement un truc à la pointe, c'est un truc qui réfléchit correctement* » (R7, architecte)

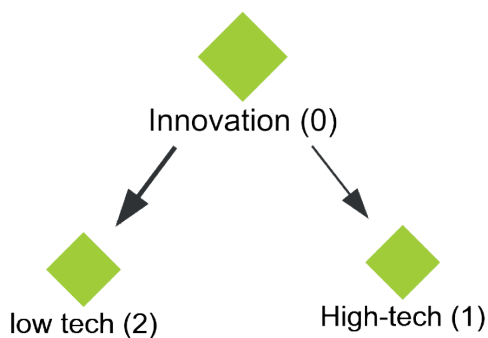


Figure 62 - Carte conceptuelle des items en lien avec la thématique de l'innovation

Les thèmes listés dans cette section font référence à des concepts de durabilité écologique et de durabilité dans le temps, deux approches qui font parties de la définition proposée dans le rapport Brundtland (Brundtland, 1987). Elles représentent la majorité des éléments faisant consensus auprès des répondants. Les thématiques principales mises en évidence sont les matériaux, les analyses de cycle de vie, la durabilité dans le temps, l'énergie, la relation au contexte, la sobriété et l'innovation (Figure 63).

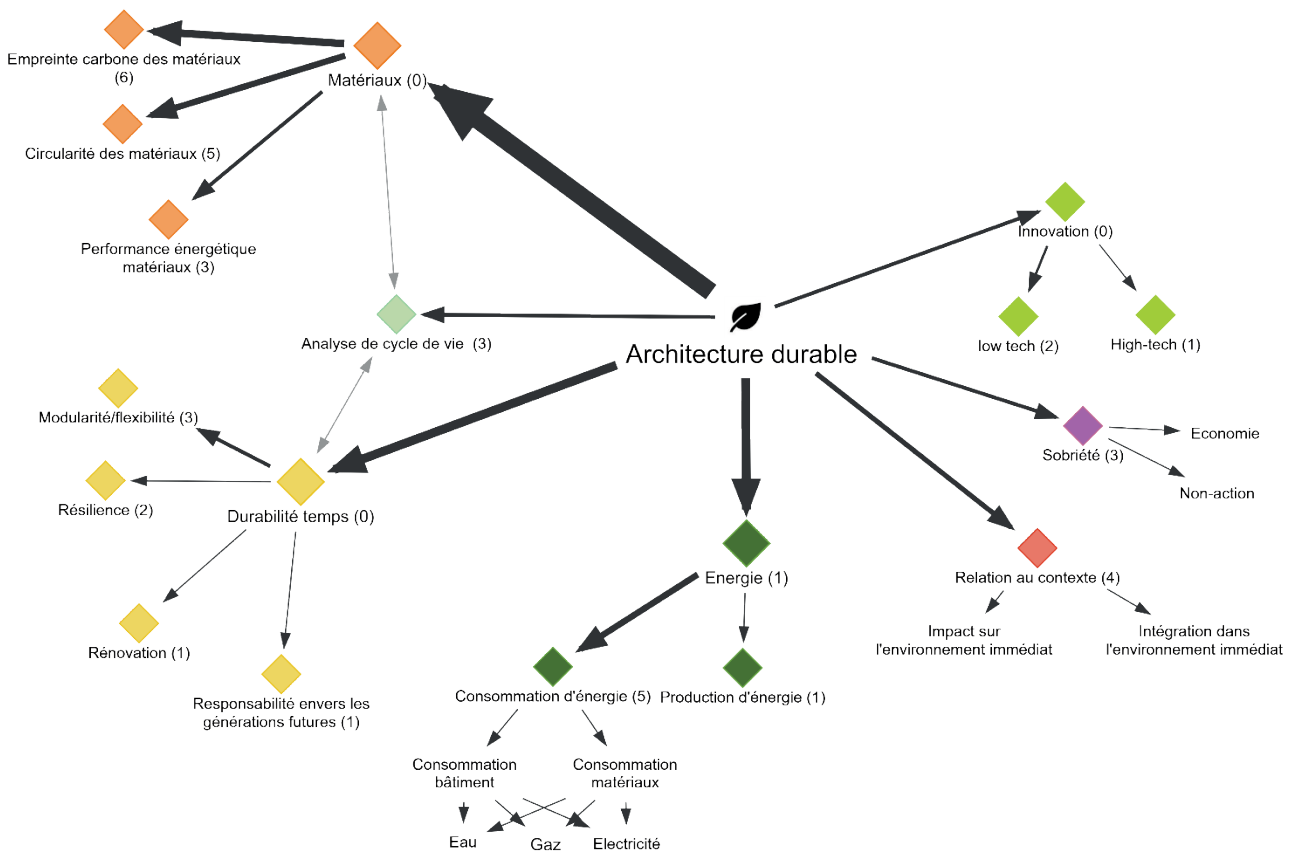


Figure 63 - Carte conceptuelle des items en lien avec la durabilité écologique et la durabilité dans le temps choisis par les répondants pour définir l'architecture durable

### 6.3.2 Critères ayant trait à la durabilité sociale

Des critères liés à la durabilité sociale ont également été cités par les répondants. Ils sont relatifs au bien-être des usagers, à l'accessibilité, à la sécurité et à l'acceptation sociale. Ces critères sont associés à des besoins humains, auxquels le concepteur se sent responsable de proposer des solutions.

*« Évidemment durable c'est aussi "sociologiquement bien intégré dans son environnement", "qui répond à des besoins humains", "qui n'impacte pas trop son contexte",... » (R1, architecte)*

Il est important de noter que ces éléments ont été beaucoup moins abordés par les répondants que les critères précédents, certains d'entre eux n'ayant été mentionnés qu'une seule fois par un seul répondant. De plus, plusieurs de ces critères ont été cités uniquement par deux répondants en particulier, R1 et R3. Ces répondants accordent plus de place que les autres au volet social, mais étant les seuls à avoir eu cette démarche ils pourraient représenter une minorité dans la communauté des concepteurs. Cependant nous ne pouvons l'affirmer avec certitude en utilisant les informations dont nous disposons. Pour confirmer cela, il faudrait le vérifier à travers une enquête quantitative interrogeant un plus grand panel de concepteurs, ce que nous n'avons pas fait dans le cadre de ce travail.

Le bien-être des usagers correspond selon les répondants à la fois à la satisfaction de leurs besoins et à leur confort (Figure 64). Ce concept de besoin doit être réfléchi à long terme pour satisfaire les usagers le plus longtemps possible.

*« Une durabilité c'est un bâtiment qui peut continuer à répondre aux besoins de ses utilisateurs dans le temps. Ça c'est pour moi une vraie durabilité. » (R7, architecte)*

*« Pour nous l'architecture durable c'est une architecture qui permettra d'assurer à nos futurs locataires ce qu'on leur doit, c'est-à-dire un confort d'usage sur la durée, tout le temps qu'ils restent dans nos logements. » (R3, ingénieur)*

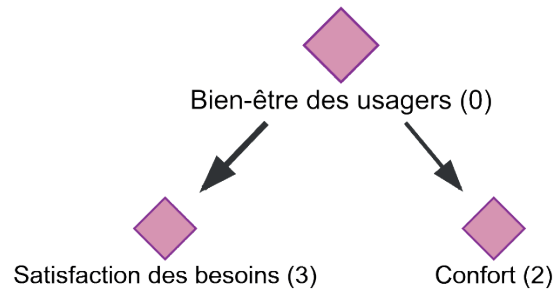


Figure 64 - Carte conceptuelle des items en lien avec la thématique du bien-être des usagers

Un autre critère abordé est celui de l'accessibilité, qui concerne également les usagers et se compose de l'accessibilité géographique et de l'accessibilité financière (Figure 65). L'un des répondants fait appel à son expérience personnelle pour exprimer le concept d'accessibilité géographique. Ce concept peut être considéré comme étant une caractéristique dépendante du pilier écologique, car le répondant y fait référence pour souligner l'impact limité de ses déplacements sur son environnement, sans mettre en avant la qualité de vie qu'il y gagne personnellement.

*« Moi-même j'ai une maison qui est pas parfaitement isolée, mais j'ai choisi d'habiter à proximité de Bruxelles, ce qui fait que je limite fortement mes trajets. Je peux prendre le métro et le vélo tous les jours. Donc je considère que mon habitation est durable non pas par elle-même mais parce que je limite mes déplacements » (R1, architecte)*

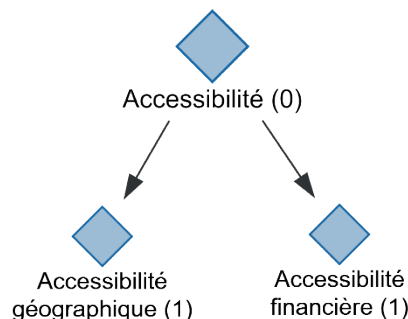


Figure 65 - Carte conceptuelle des items en lien avec la thématique de l'accessibilité

Un deuxième répondant évoque l'aspect économique, qui est une caractéristique dépendant du pilier économique, et qui peut représenter une charge importante pour un locataire. Ce témoignage provient d'un ingénieur travaillant pour un bailleur social, « le locataire » fait donc référence à des personnes en situation de précarité économique.

*« Ça va jusqu'au coût économique, au coût global pour le locataire du logement, c'est-à-dire qu'il y a la quittance, le loyer tel qu'on lui facture et puis il y a ce qu'on appelle les charges locatives qui viennent en plus du loyer qui passent par certains contrats d'entretien » (R3, ingénieur)*

Un répondant aborde le thème de l'acceptation sociale en mentionnant l'importance d'intégrer le bâtiment d'un point de vue sociologique. Le répondant n'a pas détaillé à ce moment de l'enquête ce qu'il entendait par une intégration sociologique réussie.

*« Mais évidemment durable c'est aussi "sociologiquement bien intégré dans son environnement" » (R1, architecte)*

Enfin, un répondant fait référence à la sécurité. Il identifie cet élément comme étant l'un des plus importants, et qui représente une demande directe des usagers, demande qui a été remarquée à la suite d'une enquête réalisée en interne dans son entreprise. Le répondant estime apporter une réponse satisfaisante dans sa pratique quotidienne sur cette question. Ce répondant considère la sécurité comme un élément essentiel, il est cependant le seul à faire mention de cet élément à cette étape de l'entretien.

*« Ça part de la sécurité qui est le premier élément essentiel, c'est-à-dire que sur les aspects de sécurité électrique, gaz, risque de chute, on joue bien notre rôle sur ces éléments-là » (R3, ingénieur)*

Les critères cités par les répondants et ayant un lien avec la durabilité sociale sont donc le bien-être des usagers, l'accessibilité, l'acceptation sociale et la sécurité (Figure 66). Celui qui est le plus souvent mentionné est le critère du bien-être des usagers.

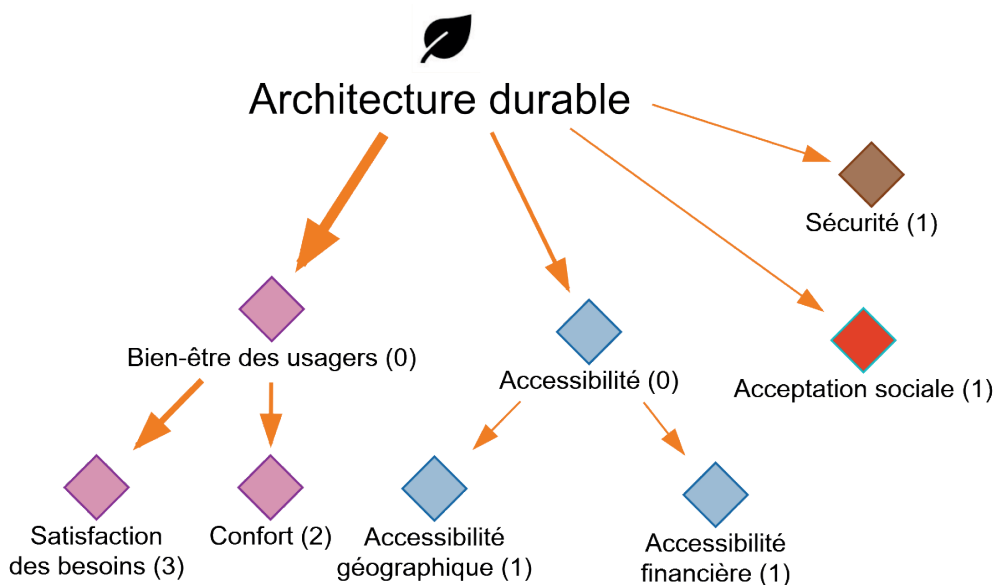


Figure 66 - Carte conceptuelle des items en lien avec la thématique de la durabilité sociale

### 6.3.3 Synthèse

A la question « Quelle est votre définition de l'architecture durable », les répondants ont choisi d'aborder majoritairement des thèmes en lien avec la durabilité écologique et la durabilité dans le temps. Ces thèmes sont ceux des matériaux, des analyses de cycle de vie, de durabilité dans le temps, d'énergie, de relation au contexte, de sobriété et d'innovation. On peut observer que les codes qui ont le plus de poids sont l'empreinte carbone des matériaux, la consommation d'énergie et la circularité (Tableau 25).

Code supérieur	Code	Segments codés (documents activés)	Documents
Matériaux	Empreinte carbone des matériaux	6	4
Matériaux	Circularité des matériaux	5	10
Energie	Consommation d'énergie	5	5
	Relation au contexte	4	4
Durabilité dans le temps	Analyse de cycle de vie	3	2
Durabilité dans le temps	Modularité/flexibilité	3	5
	Durabilité dans le temps	3	4
	Sobriété	3	3
Matériaux	Performance énergétique matériaux	3	2
Durabilité dans le temps	Résilience	2	3
Innovation	low tech	2	1
Innovation	High-tech	1	1
	Energie	1	2
Energie	Production d'énergie	1	1
Durabilité dans le temps	Responsabilité envers les générations futures	1	1
Durabilité dans le temps	Rénovation	1	1

Tableau 25 - Thèmes abordés par les répondants, classés par ordre décroissant d'importance

Les personnes interrogées ont également abordé des thèmes en lien avec la durabilité sociale, mais les répondants ayant inclus ce type de critères sont minoritaires dans cette enquête, ces thèmes ont donc été moins souvent abordés par l'ensemble des répondants. Ces critères sont le bien-être des usagers, l'accessibilité, l'acceptation sociale et la sécurité (Tableau 26).

Code supérieur	Code	Segments codés (documents activés)	Documents
Bien-être des usagers	Satisfaction des besoins	3	3
Bien-être des usagers	Confort	2	2
Accessibilité	Accessibilité financière	1	2
Accessibilité	Accessibilité géographique	1	1
	Sécurité	1	1
	Acceptation sociale	1	1

Tableau 26 - Thèmes abordés par les répondants par ordre décroissant d'importance – Intégration de la DS

De notre analyse, nous pouvons conclure que l'aspect social de la durabilité fait partie de la définition que se font les concepteurs de l'architecture durable. Cependant, ils sont minoritaires dans les représentations et ne constituent pas les premiers éléments qui sont proposés par les répondants (Figure 67).

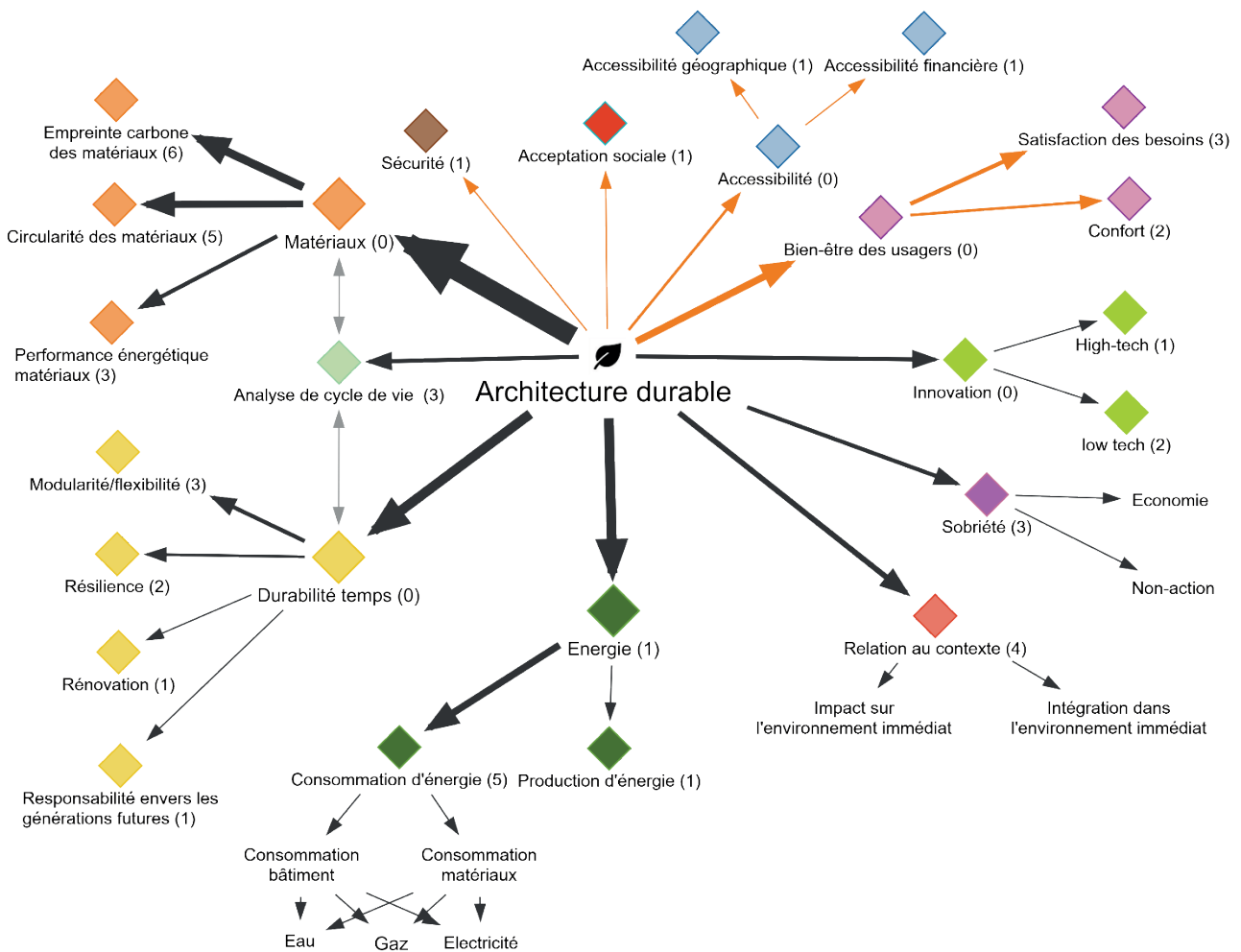


Figure 67 - Carte conceptuelle des items cités par les répondants pour définir l'architecture durable

## 6.4 Deuxième question : interactions entre BIM et architecture durable

La deuxième question posée lors des entretiens concerne les interactions entre le BIM et l'architecture durable. Cette partie de l'entretien vise à récolter la perception des concepteurs quant à l'utilité du BIM face aux enjeux de la durabilité. Nous souhaitons également vérifier si les concepteurs perçoivent spontanément le BIM comme étant un élément pouvant être utilisé pour résoudre les questions sociales. L'hypothèse que nous formulons pour cette partie est que les concepteurs perçoivent les interactions entre BIM et durabilité comme efficace seulement dans un contexte de durabilité écologique ou économique, et pas dans un contexte de durabilité sociale.

Avant de répondre à cette question, les personnes interviewées ont pu entendre une définition de l'architecture durable que nous leur avons proposée, et dans laquelle il est entre autres fait mention de la durabilité sociale. Pour autant, il n'est pas mis un accent particulier sur la dimension sociale par rapport aux autres dimensions. Cependant, il est possible que de nouveaux éléments de durabilité sociale apparaissent en réponse à cette question auprès des acteurs qui auraient totalement exclu l'aspect social dans la première question.

Parmi les réponses récoltées, nous trouvons d'une part des éléments en lien avec la durabilité écologique, économique ou à la durabilité dans le temps, et d'autre part des éléments en lien avec la durabilité sociale. De plus, certains critères ont déjà été évoqués dans la question précédente, mais d'autres critères émergent à ce stade de l'entretien. L'un des répondants a exprimé des difficultés à trouver des liens évidents entre le BIM et la durabilité.

*« En fait pour moi j'ai quand même du mal à voir le lien entre durabilité et BIM, ce n'est pas évident pour moi en tout cas. Je dois un peu chercher. » (R4, architecte)*

### 6.4.1 Critères ayant trait à la durabilité écologique, économique ou à la durabilité dans le temps

Les critères qui ressortent avec le plus d'intensité dans les réponses apportées à la question « Comment le BIM peut-il être utilisé pour améliorer la durabilité des projets ? » sont les matériaux et l'énergie. La thématique des matériaux est principalement abordée sous l'angle de la circularité des matériaux, mais aussi en ce qui concerne la diminution des déchets de chantier (Figure 68). Les répondants voient dans cette thématique une opportunité d'amélioration pour le futur.

*« Du coup je peux en citer une qui aujourd'hui je crois vraiment qu'il y a une plus-value à aller chercher en termes de circularité et BIM, de lier les deux. Je pense qu'il y a vraiment moyen d'aller beaucoup plus loin dans ce sujet-là. » (R1, architecte)*

Plusieurs répondants soulèvent l'intérêt que représente le BIM dans le suivi des informations affectées à un matériau, empêchant ainsi ce dernier de se transformer en déchet faute de disponibilité d'informations techniques fiables.

*« Je pense qu'il y a aussi tout ce qui est **gestion de l'information**. Ce qu'on veut par rapport au passeport matériaux, enfin aujourd'hui quand on veut réutiliser des matériaux dans un immeuble, si nous on va rénover un immeuble on va essayer de faire un inventaire, enfin on va réaliser un inventaire des matériaux existants, mais **souvent on manque***



*beaucoup d'informations sur ces matériaux. Et si on a pas d'information, c'est un peu ce que dis je pense Thomas Rau, un matériau à partir du moment où il a perdu les spécifications, quand il les a plus ça devient un déchet en fait. Il perd toutes ses qualités. Donc le BIM pour ça me paraît vraiment être un outil hyper utile pour garder l'information sur les matériaux qui sont mis en œuvre dans un immeuble, aussi sur la façon dont ils sont mis en œuvre. » (R5, ingénieur)*

Cette référence au concept d'information est perçue comme une valeur ajoutée dans le cas d'une remise sur le marché, ce qui peut se produire dans une démarche circulaire. La liaison entre la thématique de la circularité et celle des déchets se fait donc à travers le concept d'information. De plus, le modèle BIM est vu comme une opportunité d'anticiper des erreurs qui auraient pu entraîner des pertes de matériaux.

*« When you have to put it back in the market, it's more valuable when you have all the informations together than when you know almost nothing about it » (R9, architecte)*

*« Je pense que le fait de modéliser le bâtiment une première fois dans un logiciel 3D ça permet déjà de limiter les erreurs sur chantier et donc au niveau strictement déchets par exemple sur le chantier, de ne pas avoir à démolir des choses suite à des erreurs, vu qu'on a déjà vérifié ça sur la maquette 3D » (R4, architecte)*

*« Si on concevait en BIM et qu'on suivait un chantier en BIM on allait éviter pas mal d'erreurs et donc une erreur c'est toujours forcément construire, déconstruire, et c'est des pertes de matériaux. » (R5, ingénieur)*

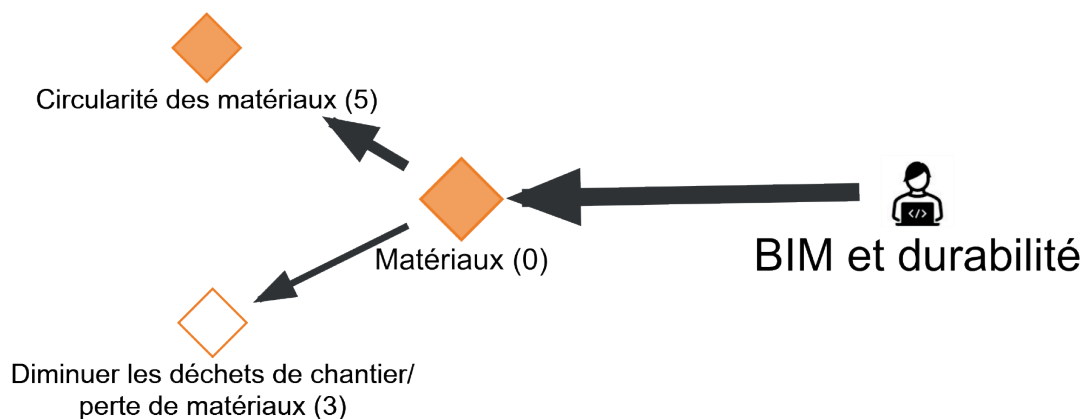


Figure 68 - Carte conceptuelle de l'interaction entre le BIM et la durabilité perçue par les concepteurs, items en lien avec la thématique des matériaux

La thématique de l'énergie concerne les analyses énergétiques des projets, à la fois en lien avec le comportement énergétique global et avec l'analyse des impacts solaires (Figure 69). Ces approches sont perçues comme déjà bien ancrées, voir « évidentes ».

*« Après il y a évidemment tout ce qui est études solaires, impact sur le bruit, sur la consommation de chaud et froid, etc. Mais ça me semble évident quand on parle de BIM et d'approche environnementale aujourd'hui. Faire des approches analytiques thermiques et autres. » (R1, architecte)*

C'est la possibilité de réaliser des analyses avec les outils BIM qui en fait un atout aux yeux des concepteurs interrogés dans la gestion énergétique des projets, notamment grâce aux informations stockées dans la base de données et grâce à la visualisation permise par la maquette numérique.

*« Dans le cadre d'un nouveau projet, pour la performance énergétique, on peut grâce au BIM faciliter la réalisation de plein d'analyses, comme les analyses Performance Énergétique des Bâtiments, déperditions etc, donc grâce aux infos qu'il y a dans les matériaux on peut faire des simulations et donc on peut, grâce aux simulations, améliorer la conception pour que le bâtiment soit le moins énergivore possible. » (R6, ingénieur)*

*« On avait tenté de faire une étude avec [un] bureau d'études sur comment un bâtiment pouvait réagir au niveau de ses apports solaires... Vraiment une vraie étude assez poussée sur ... "est ce qu'un free cooling pourrait résoudre les surchauffes au niveau de l'été avec ces grandes baies vitrées-là ?" Oui tout ça c'est avec une maquette et c'est du BIM qui peut pouvoir le faire. » (R7, architecte)*

Cependant l'un des répondants met en évidence une dissonance entre le caractère subjectif de la sensation de confort et l'aspect concret des calculs de déperdition énergétique. Il évoque que seule l'expérience humaine peut évaluer le confort

*« Il y a des choses comme la..., ça c'est un des exemples mais le côté "confort thermique" est moins calculable et donc c'est pour moi une expérience en tant qu'Homme et pas un calcul PEB qui peut le résoudre. » (R7, architecte)*

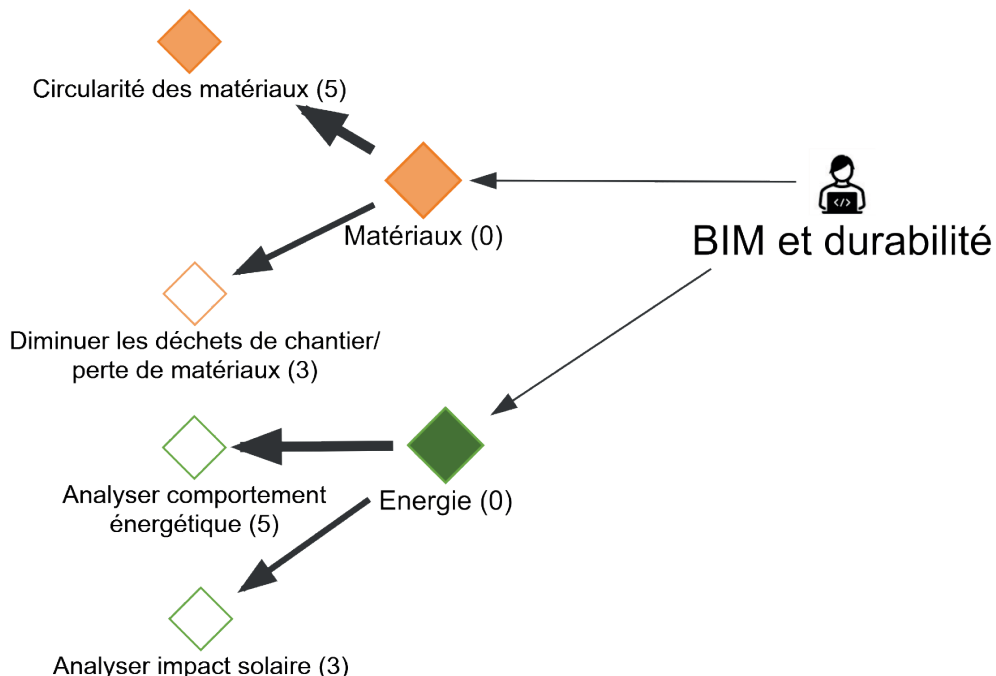


Figure 69 - Carte conceptuelle de l'interaction entre le BIM et la durabilité perçue par les concepteurs, items en lien avec la thématique de l'énergie

Les répondants font aussi plusieurs fois allusion à l'emploi du BIM dans un contexte d'échelle urbaine. Ce critère est perçu comme n'étant actuellement pas assez exploité mais présentant un

potentiel d'amélioration de la durabilité des projets. Les répondants identifient un manque de volonté politique et la nécessité de la mise en place d'une coordination globale, actuellement absente.

*« Disons que j'aime bien réfléchir macro et donc à chaque fois ce qui me semble important c'est l'échelle urbaine. Et je trouve qu'elle est complètement sous-exploitée aujourd'hui, en tout cas le BIM urbain n'est pas du tout encore quelque chose qui est en place parce qu'en Belgique on a pas encore de bouwmeester digital, j'aime bien l'appeler comme ça. Il n'y a personne qui supervise la mise en place du BIM pour la Belgique. (...) Mais je pense que l'échelle urbaine est une échelle d'optimisation vraiment nécessaire » (R1, architecte)*

La durabilité dans le temps, critère déjà abordé dans la définition de l'architecture durable, ressort également dans les interactions possibles entre BIM et durabilité (Figure 70). Cela s'exprime à travers la résilience et la modularité. La résilience fait ici référence à la capacité du bâtiment à faire face aux aléas climatiques futurs, quels qu'ils soient. Le BIM est perçu comme pouvant être un outil d'aide à la décision pour satisfaire aux conditions actuelles et futures.

*« On a désormais cet intérêt aussi de pouvoir qualifier ces nouveaux projets en termes d'adaptation au changement climatique. L'étape dont je vous parlais tout à l'heure, de dire qu'on essaie de qualifier notre patrimoine existant en essayant de voir s'il était plus ou moins exposé d'abord à des aléas et ensuite plus ou moins vulnérable à ces aléas. On a la même possibilité d'apprécier la qualité d'un nouveau projet avec une maquette numérique, ça pourrait être simplifier le fait de dire "est-ce que l'on peut simuler non seulement la conformité à la réglementation actuelle et donc aux conditions météorologiques actuelles mais à des météo plus agressives qui vont venir avec le changement climatique ?" Donc oui on voit bien dans la maquette numérique la possibilité d'être dans l'aide à la décision. » (R3, ingénieur)*

Le BIM est aussi perçu comme permettant d'anticiper les différents usages du bâtiment dans le temps, afin d'améliorer sa modularité. Cet usage est lié à la visualisation en trois dimensions rendue possible par la présence de la maquette numérique.

*« Et après il y a tout le côté logement évolutif qui peut entrer en jeu, donc pouvoir se dire qu'avec une maquette BIM, un peu comme le côté paramétrique, on peut pouvoir prévoir des scénarii différents et se dire que le bâtiment a déjà trois scénarii réfléchis en se disant "Si ça ne fonctionne pas comme ça ce mur-là a été pensé pour pouvoir l'abattre et pouvoir faire une double salle" ou "Ces deux apparts peuvent se transformer en un seul gros appart ou un logement kangourou" et ainsi de suite. Ça c'est pas des choses qu'on peut faire en 2D ou qu'on peut faire sur papier » (R7, architecte)*

Un répondant met cependant l'accent sur la nécessité absolue de maintenir la maquette à jour au cours de la phase d'exploitation du bâtiment, pour qu'elle reste utile dans le temps.

*« C'est pas le tout de faire un projet en BIM, c'est de voir comment dans la suite de sa vie est-ce que le BIM continue à être mis à jour. Beh en fait si on l'a pas mis à jour au bout de quelques années peut-être quelques mois, c'est plus utile. » (R5, ingénieur)*

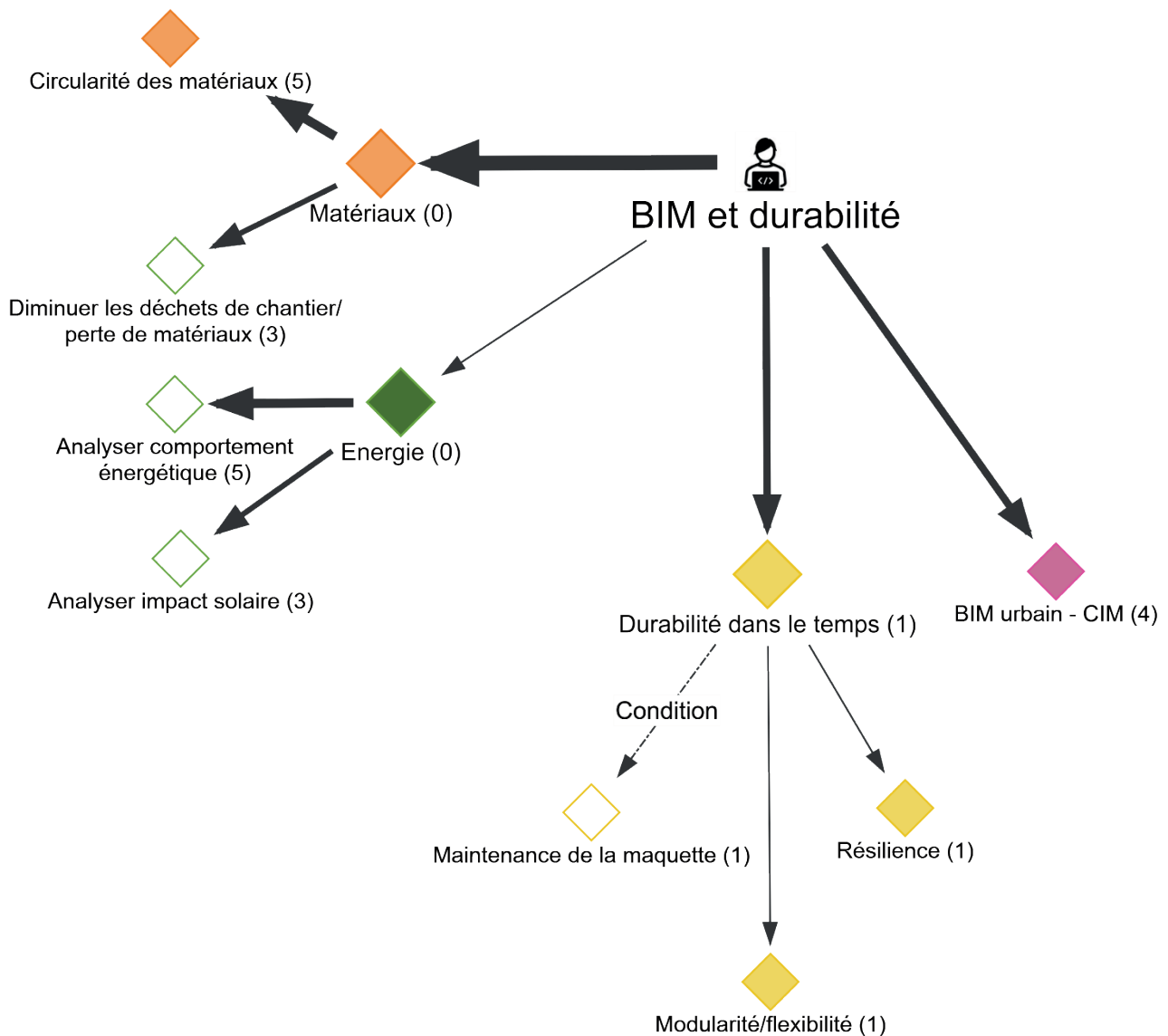


Figure 70 - Carte conceptuelle de l'interaction entre le BIM et la durabilité perçue par les concepteurs, items en lien avec la thématique de la durabilité dans le temps

La durabilité économique est abordée par un répondant, qui la met en lien avec le stockage des informations et la circularité des matériaux. Il est aussi fait mention des économies qui peuvent être réalisées pendant la phase de maintenance des bâtiments lorsque la maquette a été entretenue sur le long terme de manière structurée.

*« Après je dirais peut-être aussi quand on parle **durabilité c'est peut-être économie aussi de moyen, de temps, d'argent** au niveau de tout ce qui est la maintenance sur site après, où en fait on a récolté toutes les informations par exemple typiquement le nombre de portes et quels types de portes ou quels types clinches de portes, **si on doit les remplacer ces informations sont collectées quelque part et ce n'est pas sur des plans dans des archives introuvables mais c'est mieux structuré** et donc je pense que ça limite aussi les moyens à mettre en œuvre par la suite dans le projet » (R4, architecte)*

Enfin, diverses approches positionnant le BIM en tant qu'outil d'aide à la conception ressortent dans les réponses récoltées : anticiper l'écart de performance qui peut être observé entre le bâtiment tel qu'il a été conçu (as designed) et tel qu'il a été construit (as build) et optimiser la conception de

l'espace. Ces usages ne sont pas en lien direct avec la durabilité, mais ils font partie des réponses récoltées lors des entretiens pour la question « Comment le BIM peut-il être utilisé pour améliorer la durabilité des projets ? ». Cependant, comme l'un des répondants le souligne, une bonne conception permet de faire durer le bâtiment dans le temps, ce qui lui confère des qualités durables. L'aide à la conception est vue comme un outil complémentaire à la conception imaginée par les architectes, afin de pouvoir aider ces derniers à envisager un maximum de solutions possibles pour qu'ils puissent poser un choix de concepteur en ayant pleinement connaissance des enjeux.

*« Dans la conception, je trouve **pour qu'il y ait un côté durable il faut que les espaces soient bien pensés. Alors est-ce qu'on a la prétention que notre cerveau humain va pouvoir imaginer tous les scénarii possible pour imaginer toutes les contraintes données, c'est un peu ça ma question du paramétrique, j'ai l'impression qu'on va tendre vers "donner des contraintes", des plus, des moins, des max, des minimums qui vont donner des scénarii et puis là il y a le cerveau humain qui va entrer en jeu pour pouvoir choisir la solution la plus adaptable en fonction d'une certaine orientation, mais ça aussi il y a un côté paramétrique qui peut aider. Pour profiter au maximum des apports du terrain qu'on pourrait avoir, ou du sol ou voilà. Donc ça c'est une série de contraintes qu'on va mettre l'une après l'autre, un peu comme un problème de mathématique, on va avoir "des" solutions et dans ces solutions effectivement il y a un côté expérience, d'avoir expérimenté certains matériaux...** » (R7, architecte)*

Un répondant évoque les écarts entre les conceptions « as designed » et « as build », qui peuvent représenter un frein à la durabilité globale du projet, puisque certains critères ne pourraient être respectés que d'un point de vue théorique « as designed ».

*« Généralement il y a des écarts ou les simulations qui ont été faites ne prennent pas en compte tous les critères par exemple l'occupation, la manière dont les usagers vont utiliser le bâtiment en vrai, laisser des fenêtres ouvertes, etc. Souvent, il y a énormément d'écart par rapport au construit. C'est pour ça que c'est un petit peu cyclique et comment optimiser la réhabilitation, comment faire évoluer les choix pour se rapprocher au maximum de ce qui avait été prédit en amont, les simulations. » (R2, ingénieur)*

En conclusion, les thématiques qui sont les plus facilement citées par les répondants sont en lien avec les matériaux, l'énergie, la durabilité dans le temps, la durabilité économique et l'aide à la conception, avec une mention d'un intérêt pour l'échelle urbaine (Figure 71). La maintenance de la maquette est posée comme condition de réussite à l'intégration de ces usages, et les écarts de performance entre projet conçu et projet construit sont identifiés comme des freins à la réalisation des objectifs de durabilité.

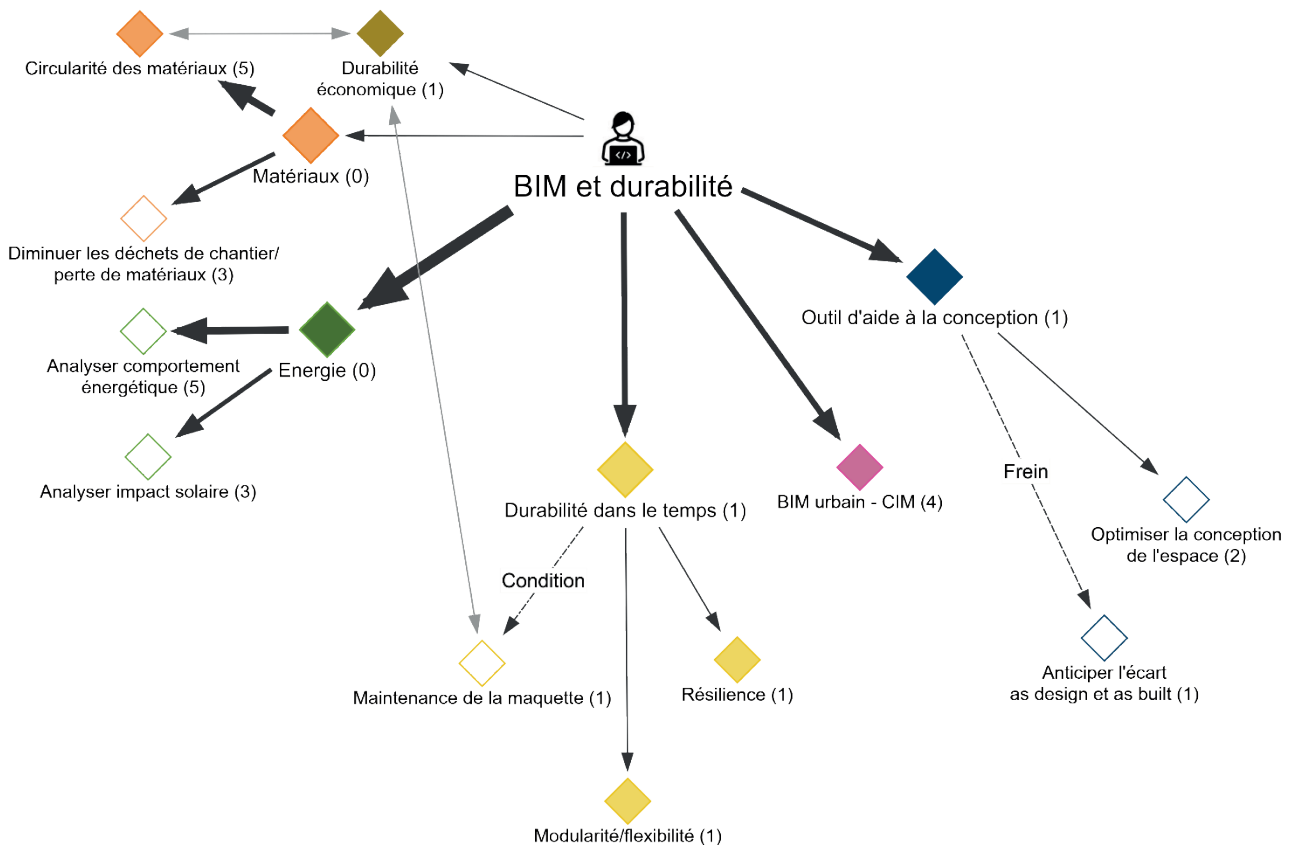


Figure 71 - Carte conceptuelle de l'interaction entre le BIM et la durabilité perçue par les concepteurs, items en lien avec la thématique de la durabilité écologique, économique et la durabilité dans le temps

### 6.4.2 Critères ayant trait à la durabilité sociale

Certains critères en lien avec la durabilité ont été cités en réponse à cette partie de l'entretien. Il s'agit de l'emploi du BIM en tant qu'outil d'aide à la conception, du bien-être des usagers et de la santé. Le recours au BIM en tant qu'outil d'aide à la conception a déjà été mentionné dans la section précédente, mais deux usages en lien avec la durabilité sociale ressortent des entretiens. Il s'agit d'utiliser le BIM pour être un outil de communication et pour analyser les flux de circulation dans et autour du bâtiment. En effet, dans les chapitres précédents nous avons identifié la communication comme étant un usage BIM pouvant améliorer la durabilité sociale des projets. Cet usage ressort également dans l'un de nos entretiens, cependant le répondant, bien qu'il aborde cet usage de lui-même et le qualifie de « précieux », spécifie tout de même qu'il estime que ce n'est pas lié à la durabilité.

*« Après moi je l'ai pas utilisé dans cet ordre-là donc je saurais pas trop en parler, sinon après moi je dirais que c'est plutôt le côté social. Enfin **social, c'est à dire que ça aide vraiment à communiquer avec tout le monde, on sait de quoi on parle, on peut le montrer de plein de façons différentes.** Quand les choses sont faites au préalable ça prend tellement moins de temps de communiquer les informations... **Ça c'est une aide précieuse. Mais c'est moins lié au durable** » (R8, architecte)*

Le répondant précise ensuite que cette communication concerne surtout les autres acteurs professionnels du projet, tels que les promoteurs ou les entrepreneurs, mais que communiquer avec les usagers via le BIM est une action qui est entravée par leur manque de compétences BIM.

*« Les usagers moins parce qu'en général de toute façon c'est des exports qu'on va leur présenter, on va jamais... Enfin si ça va arriver de leur présenter la maquette mais ça prend trop de temps de nettoyer et de faire quelque chose de propre, et du coup ils se perdent un peu dès qu'ils voient la maquette en mode Revit. Donc on préfère faire des exports et lisser le rendu qu'on va leur présenter. » (R8, architecte)*

Un répondant fait référence au potentiel que la visualisation opérée dans la maquette numérique offre pour l'étude des flux. Il propose un lien entre ces études et l'accessibilité générale du bâtiment et au sentiment d'insécurité ressenti par les usagers, que ce soit à l'échelle des pièces dans le bâtiment ou à l'échelle des abords du bâtiment.

*« Il va y avoir des flux, il va y avoir du passage et ça permet de générer des flux et des passages [dans la maquette] et de voir vraiment ce que ça représente aux heures de pointes. Et ça on peut en parler aussi au niveau de la mobilité, des espaces publics. Et donc là on est plus sur un côté social (...) de savoir que cet espace va être un espace de rencontre, ou que cet espace est un espace de contraction où personne ne va pouvoir passer, où ça va créer un espace insécuritaire. Ou ainsi de suite, quand deux immeubles sont trop proches, ou des couloirs sont trop étroits et pas assez clairs. Je pense qu'effectivement la maquette BIM peut visualiser, permet d'avoir une conscientisation un peu plus de ça » (R7, architecte)*

Le critère suivant qui est cité dans les entretiens est celui du bien-être des usagers, qui se manifeste à travers l'analyse des impacts acoustiques et l'augmentation du confort. Le concept d'analyses, quelles qu'elles soient, est généralement facilement associé au BIM dans les réponses récoltées lors de nos entretiens, comme nous l'avons déjà décrit précédemment en abordant le volet des analyses énergétiques. Un répondant fait succinctement référence au confort, et également au critère de l'augmentation de la qualité de l'air qui fait partie du critère de la santé. Cependant, le répondant n'a pas développé plus ces critères, et ils n'ont été mentionnés par aucun autre répondant.

*« C'est énorme en fait le nombre de cas d'usage par thématique ou par secteur d'activité à l'échelle bâtiment, à l'échelle urbaine : optimiser l'exploitation, la gestion, aller voir du prédictif, **augmenter la qualité, le confort, la qualité de l'air**, je ne vais pas toutes les lister, mais voilà il y a vraiment des usages à toutes les phases pour aller vers cette architecture durable » (R2, ingénieur)*

Les critères ayant un lien avec la durabilité sociale qui sont mentionnés dans cette partie de l'entretien sont donc les outils de communication, l'analyse des impacts acoustiques, l'augmentation du confort, les analyses des flux de circulation et l'augmentation de la qualité de l'air. Ces critères sont regroupés sous les thématiques des outils d'aide à la conception, du bien-être des usagers et de la santé (Figure 72).

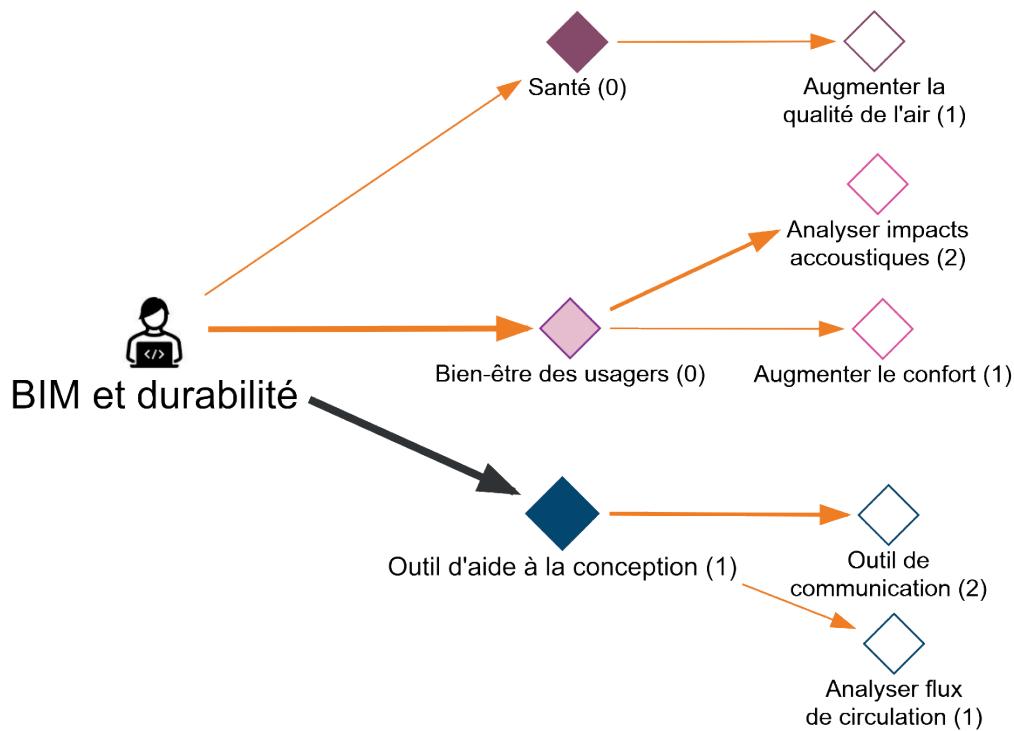


Figure 72 - Carte conceptuelle de l'interaction entre le BIM et la durabilité perçue par les concepteurs, items en lien avec la thématique de la durabilité sociale

La question posée dans cette partie d'entretien visait à identifier les liens que les concepteurs peuvent faire spontanément entre le BIM et la durabilité. Cependant, certains répondants se sont exprimés également sur leur ressenti face à l'emploi du BIM. Un répondant auquel nous posons explicitement la question de l'emploi du BIM pour traiter des sujets abstraits et sensibles exprime une forme de réticence et recentre la question sur le rôle des architectes et la place que le BIM occupe dans le processus de conception.

*« Je pense que là il y a du ressenti humain, et c'est difficile de remplacer par un calcul... Finalement ces projets sont toujours créés par des architectes qui ont des affinités, leurs ressentis, et c'est cette base-là qui est hyper importante aussi. Et qui est pas remplacée par le BIM, qui est pour moi un outil pour gérer la conception, pour gérer les donner, les informations. » (R5, ingénieur)*

Un autre répondant mentionne le potentiel que représentent les intelligences artificielles pour le secteur du numérique dans la construction, pour réaliser des simulations permettant d'améliorer la prise de décision des concepteurs.

*« Peut-être qu'un jour l'étape suivante, c'est ce que les start-ups et certaines entreprises commencent à travailler plus sûr de l'intelligence artificielle, c'est-à-dire que même si on n'a pas toutes les données de description du patrimoine, est-ce qu'à partir de quelques-unes on peut déjà construire des projections ou des simulations qui seraient de nature à pouvoir quand même agir si on ne connaît pas tout du patrimoine. Donc identifier quelles sont les données les plus importantes, les plus structurantes qui nous permettent de prendre les meilleures décisions possibles » (R3, ingénieur)*



### 6.4.3 Synthèse

En conclusion, différents critères sont proposés par les concepteurs interrogés pour répondre à la question « Comment le BIM peut-il être utilisé pour améliorer la durabilité des projets ? » (Figure 73). Nous les avons classés en deux catégories, selon qu'ils aient un lien ou pas avec la durabilité sociale.

Les critères les plus cités sont ceux qui n'ont pas de lien avec la durabilité sociale. Il s'agit des critères suivants :

- les matériaux, répartis entre la circularité des matériaux et la diminution des pertes de matériaux et de déchets de chantier,
- l'énergie, à travers les analyses du comportement énergétique, et notamment des impacts solaires,
- la durabilité dans le temps, qui fait référence à la résilience et à la modularité du bâtiment, et qui est conditionnée par la maintenance de la maquette pendant la phase d'exploitation,
- la durabilité économique, elle-même en lien avec la circularité des matériaux et conditionnée également par la maintenance de la maquette numérique,
- les outils d'aide à la conception, à travers l'optimisation de la conception des espaces.

Plusieurs acteurs font également référence à l'échelle urbaine, qui est à prendre en compte pour opérer une durabilité complète. De plus, un acteur mentionne le potentiel que représentent les intelligences artificielles pour optimiser les processus de simulation et offrir plus de choix de scénarii aux concepteurs. Cependant, il est également signalé que lors de tout ce qui concerne les analyses et les simulations, un frein peut apparaître. En effet, un répondant évoque les différences de performance réelle entre le projet tel qu'il est conçu, et le projet tel qu'il est construit et tel qu'il est utilisé par les usagers.

Même s'ils sont minoritaires, des critères en lien avec la durabilité sociale sont également cités. Il s'agit des critères suivants :

- les outils d'aide à la conception, à travers les outils de communication et les analyses de flux de circulation,
- le bien-être des usagers, qui fait référence à l'augmentation du confort, notamment via des analyses d'impacts acoustiques,
- et la santé, à travers l'augmentation de la qualité de l'air.

Cette étape de l'entretien montre qu'aux yeux des concepteurs, le BIM présente plusieurs pistes dignes d'intérêt ou déjà ancrées dans les pratiques, en particulier en ce qui concerne les matériaux et l'énergie, mais que les pistes les plus souvent citées n'ont pas de lien avec la durabilité sociale.

Pour autant, quelques pistes liées à la durabilité sociale, bien que moins citées que les autres, sont quand même abordées par certains concepteurs, mais ces dernières ne sont pas tout à fait associées à de la durabilité sociale par les répondants, certains allant même jusqu'à évoquer ces pistes en précisant qu'ils sortent du cadre de la question car ils ne les associent pas à la durabilité.

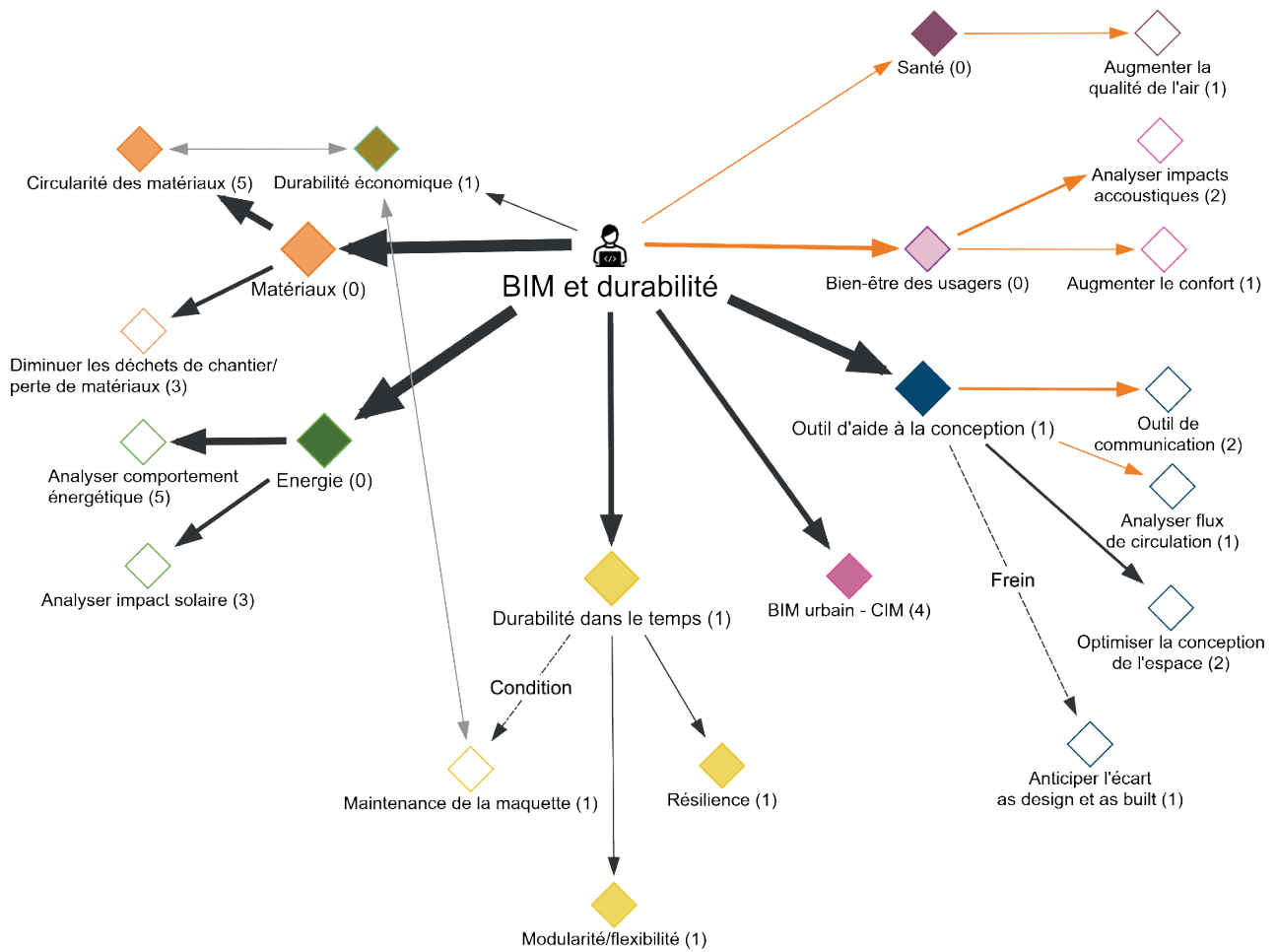


Figure 73 - Carte conceptuelle de l'interaction entre le BIM et la durabilité perçue par les concepteurs, items en lien avec la thématique de la durabilité

## 6.5 Troisième question : définition de la durabilité sociale

La troisième et dernière question posée aux répondants dans cette dernière partie d'entretien concerne la représentation qu'ont les concepteurs de la durabilité sociale. Elle est formulée comme ceci : « Quelle est votre définition de la durabilité sociale ? ». Pour cette troisième question, nous n'avons pas formulé d'hypothèse. Cette question exploratoire vise à récolter des informations sur la perception que les concepteurs se font de la durabilité sociale dans la construction, et nous ne disposons pas d'éléments permettant d'identifier préalablement à l'enquête les thèmes qui ressortiront dans les réponses des concepteurs.

### 6.5.1 Difficulté des répondants

La première chose que nous observons est la difficulté quasi unanime des personnes interrogées à apporter une réponse à cette question. Seul un acteur a pu répondre sans hésitation ou temps de réflexion à la question, et il s'agissait de R3, un ingénieur travaillant pour un bailleur social, ce qui peut expliquer pourquoi il était sensibilisé sur la question de la durabilité sociale. Les autres répondants ont tous marqué un temps d'arrêt après que la question leur a été posée, puis la majorité ont signifié qu'ils ne savaient pas répondre à la question, ou qu'ils ne se sentaient pas compétents pour le faire.

*« Là je crois que tu vois par contre on arrête mon domaine de compétences parce qu'il y a des gens qui sont plus doués que ça, plus doués sur ces sujets-là que moi. » (R7, architecte)*

*« J'ai du mal à associer durabilité sociale avec le monde de l'architecture » (R8, architecte)*

Un répondant met en avant le caractère trop peu concret de la thématique de la durabilité sociale, ce qui l'empêche de répondre. Plus loin dans l'entretien, dans la seconde partie des questions, un autre répondant revient sur la question de la durabilité sociale pour exprimer son sentiment que la durabilité sociale est une question relevant de l'abstrait.

*« Tu viens me chercher dans mes retranchements... Parce que là on peut tomber... Je sais pas comment répondre à ta question sans tomber sur des concepts limites philosophiques en fait. » (R1, architecte)*

*« C'est marrant parce que pour moi, durabilité sociale c'est plus en lien vraiment avec le bien-être, l'ensoleillement, la vue sur le jardin, des trucs beaucoup plus abstraits que la sécurité stricto sensu. Pour moi, social c'est vraiment plus la relation que les occupants ont avec... Je ne sais pas comment expliquer. Je n'aurais pas pensé que la sécurité pouvait faire partie de la durabilité sociale. » (R4, architecte)*

Un seul répondant, en plus du répondant R3, a pu répondre de lui-même après un long temps de réflexion. Pour pallier cette difficulté, nous avons choisi d'adapter le guide d'entretien en proposant des mots-clés évoquant la durabilité sociale aux répondants qui estimaient ne pas pouvoir répondre. Ces mots-clés sont tirés de notre recherche réalisée dans le chapitre 2 et sont : le bien-être des usagers, la participation, l'accessibilité, les relations humaines et l'équité. Par conséquent,

une orientation dans les réponses autour de ces concepts pourrait apparaître à la suite de l'évocation de nos mots-clés.

### 6.5.2 Critères de durabilité sociale

Les critères sur lesquels se sont exprimés les répondants sont l'accessibilité, la durabilité économique, le bien-être des usagers, les relations humaines, l'harmonie, la durabilité dans le temps, l'énergie, la sobriété et les matériaux. Les thèmes communs à ceux que nous avons cités aux répondants sont ceux des relations humaines, de l'accessibilité et du bien-être des usagers. Les thèmes issus uniquement du discours des répondants sont ceux de la durabilité économique, de l'énergie, de la sobriété, de l'harmonie, de la durabilité dans le temps et des matériaux.

Le critère de l'accessibilité se compose de l'accessibilité physique, y compris l'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite (PMR), l'accès à l'innovation, l'accès à l'énergie, l'accès à l'emploi et l'accessibilité financière. Il s'agit du critère qui est le plus souvent cité par les répondants. L'accessibilité physique est perçue comme pouvant aider un quartier à être assimilé à un lieu de vie agréable, dans lequel les bâtiments sont pleinement acteurs de la dynamique de quartier. Un répondant fait également mention de l'accessibilité pour les PMR. Selon lui, ces derniers ne bénéficient pas suffisamment des innovations technologiques et numériques du secteur de la construction.

*« C'est de faire en sorte que **le bâtiment soit intégré dans son quartier et soit acteur dans son quartier**. On va essayer de mettre des espaces qui soient plus accessibles au public au sein du bâtiment (...). Donc quand c'est possible on essaie de **pouvoir intégrer le public dans l'immeuble**, pour un peu limiter l'aspect "Ok ça c'est un immeuble de bureau impénétrable", donc les gens vont circuler autour mais **une fois que cet immeuble va être éteint il y a plus de vie**. » (R5, ingénieur)*

*« Dans des logements adaptés ou dans des nouveaux types de logement pour des personnes handicapées, ben les meubles sont plus adaptés. Et on se dit que c'est quand même très con, il y a des gens qui dessinaient des trucs parfaitement sur mesure, standardisés, dans les années 60, 70. Et puis **maintenant on a des machines qui savent tout faire au niveau découpe numérique et on se retrouve avec un mec dans son appart spécialement PMR, qui sait pas ouvrir l'armoire. Ouais je trouve qu'il y a une ignorance énorme** » (R7, architecte)*

L'accès à l'innovation est en lien avec l'accès à l'énergie. En effet, le répondant qui mentionne ce critère évoque la possibilité pour les usagers de bénéficier des dernières innovations en ce qui concerne l'énergie, notamment l'accès à des bornes de recharges pour les voitures électriques dans les logements sociaux. Cela permet aux usagers de ces logements de rester inclus dans la société sans creuser les inégalités financières.

*« On a les actions liées à des services sur la mobilité, on a déployé une concession **d'installation de bornes de recharge des véhicules électriques** donc les locataires qui sont intéressés d'avoir des véhicules électriques **parce qu'ils ont eux-mêmes envie de ne pas consommer de carburant fossile**, on essaie de mettre le **meilleur dispositif possible pour que ça leur coûte aussi le moins cher possible** et surtout qu'il ait une prise de recharge sur leur place de parking. » (R3, ingénieur)*

Ce répondant fait aussi référence à la nécessité de limiter la précarité énergétique, en améliorer la performance énergétique des logements. Le même répondant aborde l'accessibilité à l'emploi, sous forme de services offerts aux locataires de logements sociaux tels que du conseil ou des formations et visant leur réinsertion dans la société.

*« Après il y a aussi le fait **qu'on essaye de développer des dispositifs de lutte contre la précarité énergétique** même si une fois qu'on a fait les travaux dans un bâtiment pour améliorer sa performance, on sait très bien que l'usage que fait le locataire de son logement est important dans le bon maintien des économies de charges » (R3, ingénieur)*

*« On identifie certaines résidences dans lesquelles on peut désigner certains locaux qui sont destinés à **accueillir des services complémentaires pour les locataires** comme un dispositif qui s'appelle Accent qui fait le lien avec soit Pôle Emplois soit avec d'autres dispositifs de formation **pour essayer d'intégrer au sein de la résidence des services qui sont de nature à faciliter le retour à l'emploi des locataires** » (R3, ingénieur)*

Un autre répondant remet en question l'accessibilité financière des innovations, qui permettent un gain financier pour les occupants seulement s'ils ont la connaissance et les moyens financiers adéquats pour entretenir le bâtiment sur le long terme.

*« Quand tu fais un bâtiment ou plusieurs bâtiments d'habitation, **est-ce que tu construis quelque chose qui est basse énergie parce que c'est plus facile pour les habitants qui ont pas beaucoup de moyens pour chauffer tout ça ? Mais c'est de la grande high-tech qu'ils pourront pas utiliser. Parce que c'est trop complexe, ou l'entretien c'est trop cher. Alors c'est bien pour les cinq premières années mais après ça perd toute sa durabilité parce que c'est pas accessible pour les habitants.** » (R9, architecte)*

L'aspect économique est d'ailleurs, avec celui de l'accessibilité, l'un des critères qui fait le plus écho dans les réponses des personnes interrogées pour cette enquête. Le critère de la durabilité économique est composé de la sécurité financière, la diminution des charges locatives et le conseil, lui-même composé du conseil financier et du conseil à l'emploi. L'accès à l'emploi et l'accessibilité financière font à la fois partie de la thématique de l'accessibilité et de celle de la durabilité économique. L'un des répondants fait référence au revenu universel, permettant que tous soient en sécurité financière. Cependant, il présente celui-ci comme un monde idéal. Un autre répondant associe aussi la durabilité sociale à la diminution des charges locatives et du loyer lui-même, notamment dans le contexte des logements sociaux.

*« Ce serait **une sorte d'idéal de planète** où tous les humains (...), ont tous **une sorte de revenu idéal minimum universel** » (R1, architecte)*

*« S'agissant notamment de logements sociaux, c'est **comment on fait tous nos meilleurs efforts pour que le locataire en place ait un minimum de charges locatives supplémentaires au loyer ou voire même comment on peut diminuer aussi le loyer** » (R3, ingénieur)*

Il complète, toujours dans un contexte de gestion des logements sociaux, avec les concepts de conseil à l'emploi, que nous avons développé dans les paragraphes ci-dessus, et de conseil financier dans le cadre d'obtention des primes liées à l'énergie.

« Après il y a aussi le fait qu'on essaye de développer des dispositifs de lutte contre la précarité énergétique (...) mais aussi de l'aider [le locataire] à **identifier toutes les aides qu'il peut disposer en termes de chèques énergie...** » (R3, ingénieur)

Le critère du bien-être des usagers se compose du confort, de la luminosité et du contact avec la nature. Le bien-être est perçu comme étant une forme d'abstraction, qui est liée à des ressentis associés aux niveaux d'ensoleillement et à la possibilité d'avoir un contact visuel avec des éléments de la nature.

« C'est marrant parce que **pour moi, durabilité sociale c'est plus en lien vraiment avec le bien-être, l'ensoleillement, la vue sur le jardin, (...)** » (R4, architecte)

Le critère des relations humaines se compose de l'équité et de la création de liens. Un répondant évoque, en parlant de son lieu de travail, qu'il s'y sent « comme à la maison » et que ce lieu est propice à la création de liens sociaux. L'aménagement du lieu favorise les échanges entre collègues grâce à la mise en place de lieux de rencontre confortables. Le répondant s'estime chanceux de pouvoir bénéficier de ce genre d'aménagements.

« Donc pour nos utilisateurs oui, **la création du lien social aussi.** (...) Ici on a vraiment un espace de travail qui est... enfin je pense que **c'est assez rare, on est assez chanceux d'avoir un espace comme ça, on a l'impression d'être à la maison, il y a beaucoup d'échanges qui peuvent se faire parce qu'il y a des petits salons, il y a l'endroit où vous êtes arrivée qui est un grand bar pour l'accueil. Et donc la relation entre les personnes est vraiment mise en avant pour générer des échanges.** » (R5, ingénieur)

Un répondant aborde l'éthique en soulevant la question de l'impact social des matériaux, produits dans des conditions questionnables, et dont le choix revient au maître d'œuvre. Il souligne que les informations sur le sujet sont difficiles à obtenir et que les conditions de production de ces matériaux ne sont pas contrôlées par les concepteurs. Le critère des matériaux fait donc ici référence à l'impact humain que peuvent générer l'extraction et la transformation des matériaux (Figure 74).

« **Quand tu construis des choses, tu fais des choix, quels matériaux tu utilises.** (réfléchis) C'est important mais pas toujours facile de savoir quel est l'impact, quand tu utilises par exemple l'aluminium. C'est peut-être logique d'utiliser ça, **mais peut-être que pour créer de l'aluminium il y a dans certains pays de gros impacts sur la nature et tout ça, alors c'est pas facile de savoir quel est l'impact de certains matériaux, mais il y a un gros impact. Certains choix que tu fais, dans ce pays... Mais bon c'est peut-être outside your country limits mais il y a quelque chose de social.** » (R9, architecte)

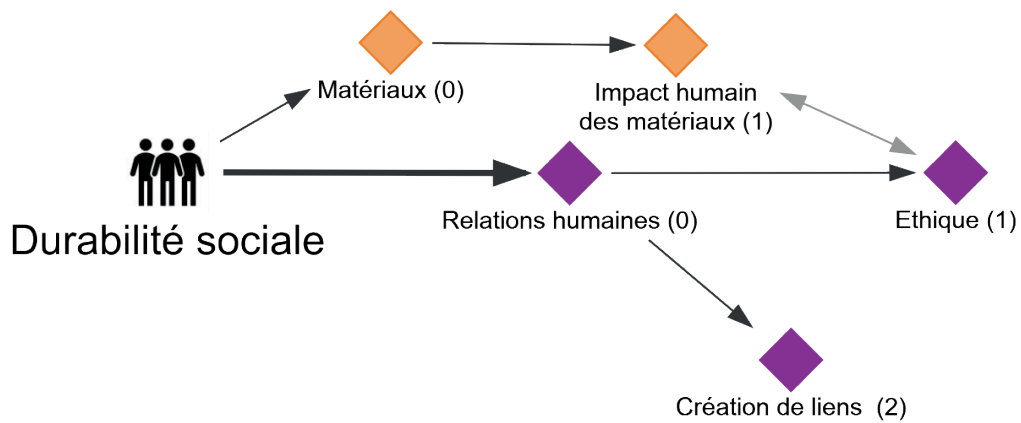


Figure 74 -Carte conceptuelle de la définition de la durabilité sociale perçue par les concepteurs, items en lien avec la thématique des matériaux

Le critère de l'harmonie se compose des thématiques de la paix et de l'équilibre. Un répondant les évoque comme correspondant à une approche plus philosophique que les autres critères cités.

*« On est la limite de la discussion qui est complètement d'un autre ordre, qui est plutôt du revenu universel et d'essayer de faire en sorte que tout le monde consomme et vive de manière relativement simple et équilibrée, que pour pouvoir faire en sorte que les ressources ne soient pas trop consommées, de la planète j'entends et **qu'en même temps tout le monde vive de manière heureuse et épanouie**. Ce serait une sorte d'idéal de planète où **tous les humains sont entre guillemet en paix**, ont tous une sorte de revenu idéal minimum universel » (R1, architecte)*

La thématique de l'énergie fait référence à la consommation d'énergie. Cette dernière est en lien avec les thématiques de l'accès à l'énergie, la diminution des charges locatives et du conseil financier (Figure 75).

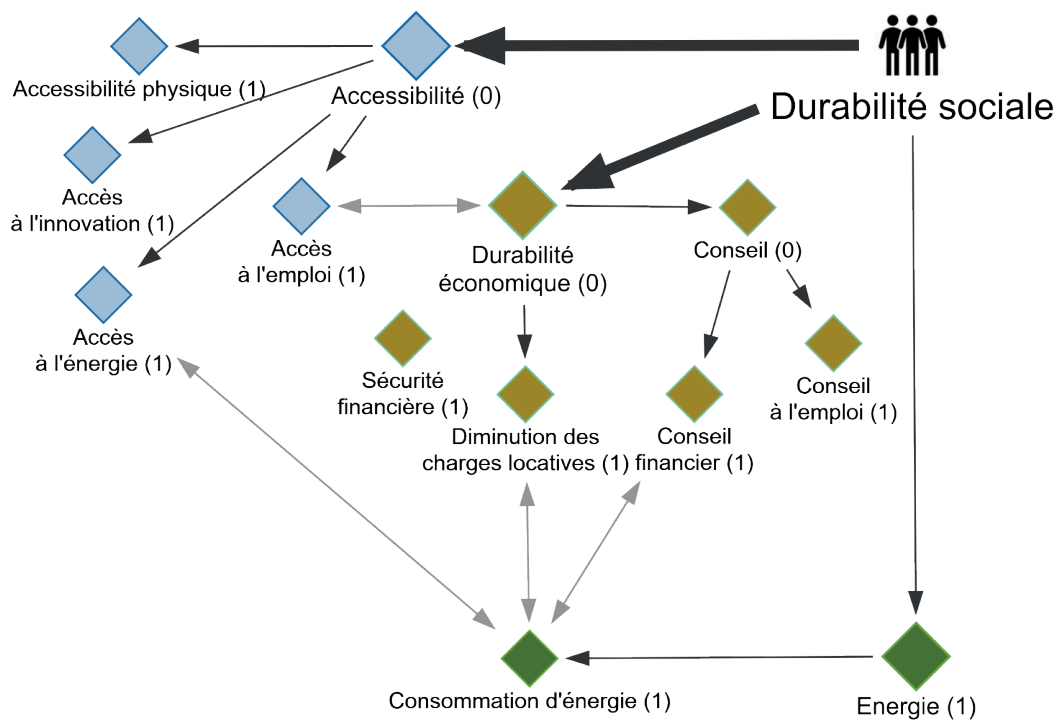


Figure 75 - Carte conceptuelle de la définition de la durabilité sociale perçue par les concepteurs, items en lien avec la thématique de l'énergie

Un répondant fait référence à la sobriété, en estimant que la durabilité sociale vise à promouvoir une forme de simplicité dans les choix de consommation. Enfin, un répondant fait référence à la durabilité dans le temps à travers le concept de modularité, et à la capacité du bâtiment à s'adapter au fil des besoins.

*« J'aime pas cette logique-là parce que ça fait appel à une sorte de notion politique, ce qui n'est pas du tout ce que je veux exprimer. Mais **qui fait que les gens ne font pas la course à la gloire, à la consommation et au luxe** » (R1, architecte)*

*« J'ai l'impression que c'est lié au fait de **la flexibilité du bâtiment, son adaptabilité** ? » (R6, ingénieur)*



### 6.5.3 Synthèse

En conclusion, les thématiques abordées par les concepteurs interrogés sur leur définition de la durabilité sociale sont celles de l'accessibilité, la durabilité économique, le bien-être des usagers, les relations humaines, l'harmonie, la durabilité dans le temps, l'énergie, la sobriété et les matériaux. Plusieurs liens connectent ces thématiques entre elles, certains concepts pouvant se mélanger par moment dans le discours des répondants.

Nous constatons une grande difficulté de la part des répondants à répondre de manière spontanée à cette question, car plusieurs d'entre eux ont réfléchi longuement avant de répondre, n'ont pas pu répondre, ou n'ont répondu qu'après que nous les ayons encouragés à l'aide de mots-clés (Figure 76). Un répondant a qualifié cette approche d'idéale.

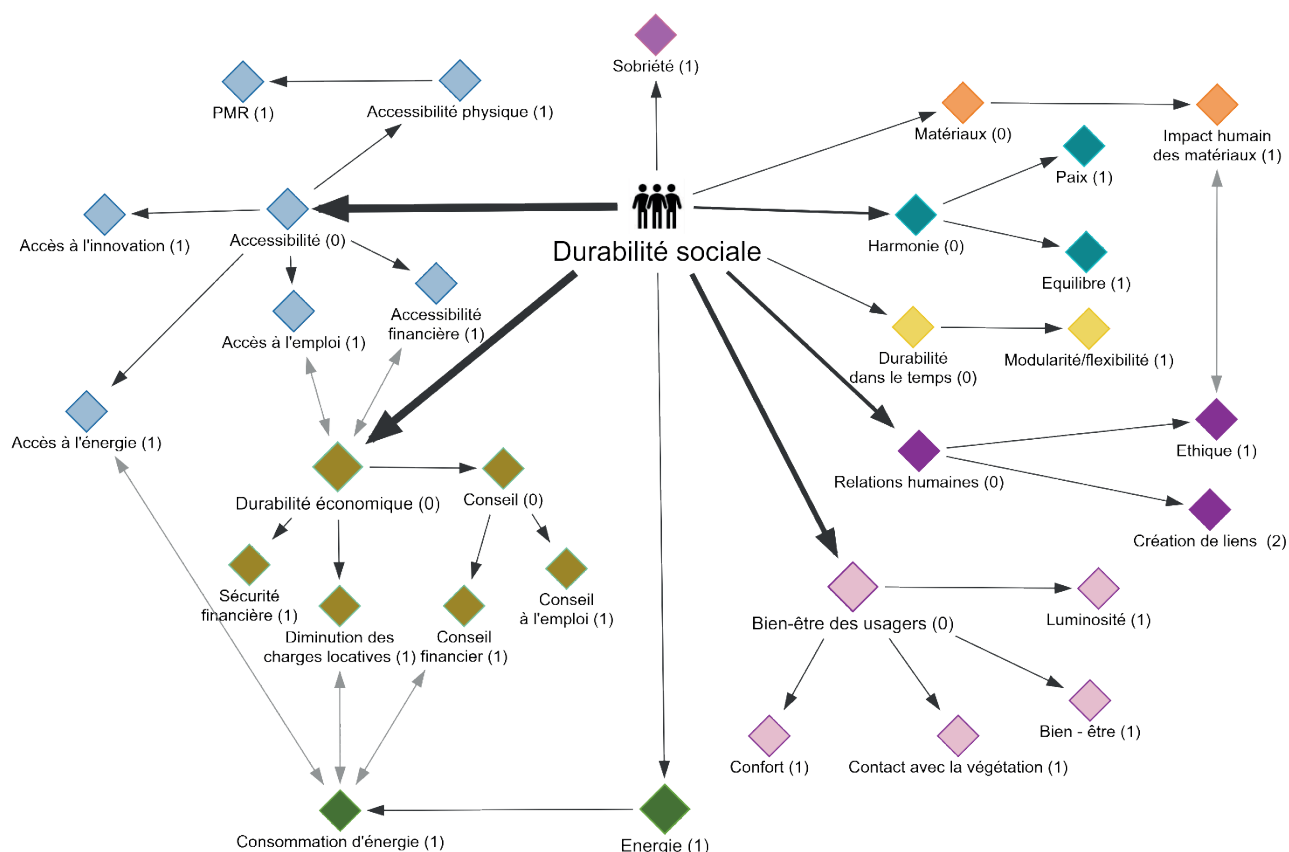


Figure 76 - Carte conceptuelle de la définition de la durabilité sociale perçue par les concepteurs

Les deux thématiques qui sont le plus citées sont celle de l'accessibilité et celle de la durabilité économique. On observe que la thématique de la durabilité économique présente plusieurs interactions avec d'autres thématiques, en particulier celles de l'accessibilité et de l'énergie. Le bien-être des usagers, les relations humaines et l'harmonie sont les trois thématiques qui reviennent le plus après les deux précédemment évoquées. Enfin, certaines thématiques ont été abordées une seule fois par un seul répondant. Il s'agit de l'impact humain des matériaux, la sobriété, la modularité et l'énergie. Cette dernière présente beaucoup de liens avec la thématique de la durabilité économique.

Parmi ces thématiques, certaines sont des caractéristiques dépendantes des autres piliers : la durabilité économique, écologique ou la durabilité dans le temps. Les critères les plus souvent cités font partie de cette catégorie de thématique. La durabilité économique en particulier semble

être un critère important pour les concepteurs ayant répondu à l'enquête. D'autres sont des critères indépendants, propres au concept de durabilité sociale : l'accessibilité, le bien-être des usagers, les relations humaines, l'harmonie, l'impact humain des matériaux et la sobriété. Entre tous ces critères, c'est celui de l'accessibilité qui semble faire le plus écho dans les représentations des concepteurs. Ce critère est abordé sous le prisme de l'accessibilité physique, de l'accès à l'innovation, à l'énergie, à l'emploi, et de l'accessibilité financière.

## 6.6 Discussion des résultats de la première partie

La première hypothèse formulée pour cette première partie d'enquête était que la durabilité sociale n'est pas un élément perçu comme faisant partie de la définition de l'architecture durable pour les concepteurs. Après analyse des résultats, cette hypothèse doit être nuancée. Effectivement, à la question « Quelle est votre définition de l'architecture durable ? », les répondants abordent en premier lieu des thèmes qui sont associables à la durabilité écologique et la durabilité dans le temps. Cependant, des thèmes en lien avec la durabilité sociale font également leur apparition de manière spontanée dans les réponses des personnes interrogées. Toutefois, les répondants ne mentionnent pas explicitement l'expression « durabilité sociale », et ne semblent d'ailleurs pas faire de lien entre cette dernière et les critères cités que nous avons identifiés dans le chapitre 2 comme étant des éléments de durabilité sociale. Nous pouvons donc dire que les concepteurs attribuent majoritairement à la définition de l'architecture durable des critères non sociaux, bien que certains critères sociaux soient intégrés à cette définition mais de manière secondaire. Concernant le traitement de la durabilité sociale, il s'agit là du même phénomène que ce que nous avons observé dans la littérature : un traitement présent mais secondaire face aux critères des autres piliers.

La deuxième hypothèse formulée est que les concepteurs perçoivent les interactions entre BIM et durabilité comme efficaces seulement dans un contexte de durabilité écologique ou économique. La question posée pour vérifier cela est « Comment le BIM peut-il être utilisé pour améliorer la durabilité des projets ? ». A nouveau, nous avons observé que les critères les plus cités n'avaient pas de lien avec la durabilité sociale. Nous avons également remarqué que les concepteurs interrogés reprennent des critères relatifs à la durabilité dans le temps, élément que nous n'avions pas anticipé dans notre hypothèse de départ. Pour autant, quelques critères cités sont en rapport avec la durabilité sociale, bien qu'à nouveau les concepteurs ne semblent pas identifier ces critères comme faisant partie du pilier social. De plus, à cette étape et bien que cela ne fasse pas partie de la question, les concepteurs identifient certains freins et conditions à l'usage du BIM pour améliorer la durabilité des projets. Les freins cités sont les écarts de calcul entre le projet tel qu'il est conçu et le projet tel qu'il est construit, ainsi que la difficulté à trouver des liens entre BIM et durabilité, qui peut traduire un manque de connaissance du répondant sur les pratiques BIM. Les conditions avancées sont la maintenance de la maquette numérique pendant la phase d'exploitation, et la possibilité de recourir à de nouvelles technologies telles que les intelligences artificielles pour optimiser les usages BIM pour la durabilité. Cette hypothèse est donc également à nuancer puisque s'il est vrai que les critères principaux sont en lien avec la durabilité écologique, les répondants identifient également des critères en lien avec la durabilité dans le temps, et quelques critères, minoritaires, en lien avec la durabilité sociale.

Enfin, la dernière partie de l'enquête n'est pas liée à une hypothèse en particulier. Cette partie est plus exploratoire, et a pour objectif de construire une définition de la durabilité sociale selon la perception des concepteurs. Premièrement, nous pouvons signaler une difficulté de la part des concepteurs pour formuler une définition du concept de la durabilité sociale. A la première lecture, cette difficulté apparente peut tenter le chercheur de conclure que les concepteurs n'intègrent pas la durabilité sociale dans leurs projets. Cependant nous avons remarqué dans les deux premières questions que les concepteurs n'identifiaient pas les critères de durabilité sociale qu'ils citaient comme faisant partie du pilier de la durabilité sociale.

Par conséquent nous pouvons proposer que cette difficulté soit issue d'un problème de sémantique, ce qui implique d'une part que les concepteurs peuvent faire de la durabilité sociale sans l'identifier comme telle, et d'autre part que l'expression « durabilité sociale » est peu populaire

dans la communauté des concepteurs. Cependant nous n'avons pas relevé pendant les entretiens une autre expression synonyme qui serait employée par les concepteurs. Cela implique que le concept existe dans la communauté mais de manière éparpillée, non centralisée ou fédérée autour d'un nom ou d'une expression. Or, nommer un concept est ce qui le fait exister et lui permet de prendre sa place dans un contexte donné. Ce constat pose question, mais nos entretiens ne permettent pas d'identifier la raison de cette absence de terme regroupant les éléments de la durabilité sociale.

*« Nommer l'autre est l'acte inaugural qui nous permet d'identifier quelqu'un ou quelque chose. En conséquence, cet acte permet au sujet d'être identifié par les autres. Il est porteur d'un signifiant qui le nomme, qui le différencie des autres et qui en même temps l'inscrit dans un groupe. (...) Cette reconnaissance par l'autre indique au sujet la place qu'il va occuper dans le social, c'est-à-dire la manière d'entrer en lien avec les autres, ce qui est attendu de lui, ce qui lui est interdit, selon le contexte dans lequel il se trouve. »*  
(Guerrero, 2016, p. 165)

Deuxièmement, nous avons pu observer que les critères cités par les répondants sont à la fois des critères dépendants des autres piliers de la définition de la durabilité, et des critères indépendants de ces autres piliers. Les matériaux et l'énergie, qui prenaient une place prépondérante dans la définition de l'architecture durable selon les concepteurs, se manifestent également dans leur définition de la durabilité sociale, mais cette fois-ci de manière beaucoup plus discrète. Le même phénomène est observé pour la durabilité dans le temps. A contrario, les critères dépendants du pilier économique semblent être intimement liés au concept de durabilité sociale selon les concepteurs, alors qu'ils n'apparaissent pas dans leur définition du concept d'architecture durable.

En conclusion, la durabilité sociale semble être un concept un peu flou pour les concepteurs, qui n'ont pas une vision organisée collective autour de cette notion. Cependant, les paragraphes précédents démontrent que la durabilité sociale fait partie de la définition de l'architecture durable selon les concepteurs, ainsi que dans leur vision des interactions entre BIM et durabilité, même si cela se fait principalement de manière minoritaire et incomplète.

## CHAPITRE 7 : ENQUÊTE PARTIE 2 - ENTRETIENS AVEC LES CONCEPTEURS SUR LEUR PERCEPTION DES USAGES DU BIM DANS UN CONTEXTE DE CONSTRUCTION SOCIALEMENT DURABLE

Dans cette deuxième partie, nous avons confronté les usages identifiés dans le chapitre 4 aux pratiques des répondants. Pour rappel les catégories d'usages identifiées étaient la sécurité, le confort des usagers, les processus d'apprentissage pour les étudiants et professionnels de la construction, le patrimoine culturel, la communication avec les usagers et la communication entre les acteurs du projet. L'ordre d'administration de ces deux parties d'enquêtes n'est pas interchangeable, car la deuxième partie de l'enquête fait directement allusion au caractère social des usages BIM. Or la première partie nécessite que le répondant n'ait pas été informé par nous sur ce sujet avant de répondre aux questions.

Pour étudier l'acceptation sociale des concepteurs face aux usages du BIM dans un contexte de construction socialement durable, nous avons utilisé la méthode des entretiens semi-directifs. Les entretiens se sont déroulés de manière individuelle, le répondant est seul avec la doctorante. Tous les entretiens ont été enregistrés afin d'être retranscrits le plus fidèlement possible. Cinq entretiens ont été menés en présentiel dans les bureaux du lieu de travail du répondant, et six entretiens ont été menés à distance en utilisant le logiciel Teams. Le choix du présentiel a toujours été favorisé lorsque cela était possible. Ces entretiens ont un usage exploratoire.

*« Les entretiens exploratoires ont pour fonction de compléter des pistes de travail suggérées par les lectures préalables et de mettre en lumière les aspects du phénomène auxquels le chercheur ne peut penser spontanément. L'entretien exploratoire visant à faire émerger au maximum les univers mentaux et symboliques à partir desquels les pratiques se structurent, sera plutôt à dominante modale, avec une consigne du type ' Qu'est-ce que cela représente pour vous ? ' » (Blanchet & Gotman, 2017, p. 39)*

En effet, à travers ces entretiens nous explorons la perception qu'ont les concepteurs quant à l'ancrage des usages BIM dans les pratiques professionnelles. Ces entretiens sont basés sur la synthèse des usages identifiés à travers l'étude et l'analyse de la littérature dans le chapitre 4.

## 7.1 Profils cibles

Les personnes interrogées pour la première partie de l'enquête l'ont également été pour la seconde partie. Cependant, les personnes ciblées pour participer à la deuxième partie des entretiens devaient satisfaire à plusieurs conditions additionnelles (Tableau 27). Nous précisons qu'il a été difficile de trouver des profils acceptant de répondre à nos questions. Sur plus de 40 personnes contactées, seules 11 ont accepté de planifier un entretien.

La première, commune à tous les interviewés, était d'être un acteur de la conception architecturale pratiquant en Belgique ou en France. La notion d'acteur de la conception, dans une logique de conception collaborative induite par l'emploi des processus BIM, se veut ici très large, et peut aussi bien désigner une personne travaillant pour un maître d'ouvrage, un maître d'œuvre, un bureau d'étude, un centre de recherche technique, ou n'importe quel organisme jouant un rôle direct ou indirect dans l'acte de conception. Tous les répondants avaient un profil d'ingénieur ou d'architecte et pratiquaient soit en France, soit en Belgique. N'étant pas dans une logique comparative entre les deux pays, nous n'avons pas cherché à équilibrer le nombre de profils appartenant à l'un ou l'autre.

La deuxième condition posée était de pouvoir connaître et/ou manipuler les logiciels BIM et de comprendre les enjeux liés aux processus générés par ces logiciels. Afin d'évaluer le niveau de connaissance en matière de BIM des répondants, nous avons sélectionné des profils travaillant dans des entreprises utilisant le BIM comme argument commercial, et dont la fonction était liée à la connaissance ou la manipulation de la maquette numérique dans un contexte de processus BIM. Dans le tableau ci-dessous, nous utilisons le terme « BIM ready » pour désigner les entreprises utilisant le BIM pour répondre aux besoins de leurs clients. Le choix de ce terme s'est fait parce que certains répondants l'ont utilisé pendant ou avant l'entretien, ou l'utilisent dans leurs descriptions de poste sur les réseaux sociaux professionnels.

La troisième condition, plus souple car pouvant prendre différentes formes, était de manifester un intérêt envers les enjeux liés à la construction durable et/ou mettre en œuvre des solutions durables dans la pratique professionnelle. Pour estimer l'intérêt pour la durabilité, nous avons sélectionné des profils dont la fonction était liée à un pilier de la durabilité : « Sustainability manager », « Environmental officer », « Circular economy manager », ... ou des profils ayant complété leur formation initiale par des formations liées à la durabilité ou à des thématiques de durabilité sociale : « Communication », « Environnement », « Construction passive », « Economie circulaire », ...

Une exception a été faite en ce qui concerne la deuxième condition, pour un répondant dont le niveau de connaissance des logiciels et processus BIM était plus faible (R5). En effet, il avait été brièvement formé sur le fonctionnement de ces processus mais ne les avait jamais manipulés en dehors de cette formation. Cependant ce répondant présentait un profil d'expertise durable très complet en regard de celui des autres répondants, nous avons donc choisi de récolter son témoignage pour bénéficier d'un point de vue différent sur la dimension durable.

Répondants	Pays	Genre	Titre <sup>5</sup>	Années d'expérience	Type d'employeur	Fonction liée au numérique	Intérêt durabilité
R1	BE	H	A	13	Opérateur immobilier	- BIM Consultant - BIM Manager - Certificat Autodesk	- Conseiller PEB - Circularité
R2	FR	F	I	11	Centre scientifique et technique	- Référent BIM GEM - Chef de projet BIM	- Communication
R3	FR	H	I	35	Bailleur social	- Direction numérisation du patrimoine	- Bailleur social
R4	BE	F	A	4	Centre scientifique et technique	- Conseiller BIM	- Conseiller PEB
R5	BE	H	I	20	Opérateur immobilier	/	- Environmental Officer - Conception passive - Conseiller climatisation - Economie circulaire - Conseiller PEB
R6	BE	F	I	6	Centre scientifique et technique	- BIM advisor	/
R7	BE	H	A	11	Agence d'architecture	- Expérience(s) dans un bureau d'architecture « BIM ready »	- Fondateur start up circularité des matériaux
R8	FR	F	A	8	Agence d'architecture	- Expérience(s) dans un bureau d'architecture « BIM ready » - Formation management BIM - Dessinateur/projeteur CAO	- Expérience(s) dans une agence utilisant le numérique pour répondre aux enjeux du développement durable

<sup>5</sup> A : Architecte, I : Ingénieur

R9	BE	H	A	13	Secteur commercial	- Chef de projet - Numérisation des pratiques professionnelles	- Responsable durabilité - Conseiller PEB
R10	BE	H	A	18	Service public	- Chef de projet référent BIM	- Expérience(s) dans une entreprise œuvrant pour la mobilité, les logements sociaux, les espaces verts
R11	BE	H	A	30	Agence d'architecture	- Fondateur d'un bureau d'architecture « BIM ready »	- Bâtiments passifs - Agence visant une approche holistique de la durabilité

Tableau 27 - Profils des répondants de l'enquête partie 2

## 7.2 Guide d'entretien

Les entretiens ont été réalisés en trois salves, et les deux parties de l'enquête ont été administrées à tous les répondants jusqu'à ce que l'analyse des entretiens démontre une saturation de l'information. En effet, dans son ouvrage, Christophe Lejeune mentionne l'intérêt d'analyser les informations récoltées au fur et à mesure afin d'orienter les entretiens au fil de la recherche.

*« Conduire une recherche qualitative implique d'alterner la collecte et l'analyse du matériau empirique. Analyser le matériau au fur et à mesure de son obtention permet au chercheur d'identifier les éléments à approfondir et d'orienter en conséquence la suite de la collecte. » (Lejeune, 2019, p. 39)*

C'est pourquoi nous avons appliqué cette démarche et avons analysé la première salve d'entretiens (entretiens 1 à 5), puis complété le guide d'entretien avec les nouveaux usages détectés par les premiers répondants. Ce nouveau guide d'entretien a été administré à une seconde salve d'entretiens (entretiens 6 à 9). A ce moment, une analyse complète et approfondie a été réalisée sur les deux premières salves d'entretiens avant de continuer à administrer la dernière salve (entretiens 10 à 11) (Figure 77). Cela nous a permis d'une part de recueillir la perception des acteurs sur ces nouveaux usages qui n'avaient pas initialement été identifiés dans la littérature, et d'autre part d'insister lors des interviews 10 et 11 sur les points qui n'étaient pas encore arrivés à saturation. Les différentes versions du guide d'entretien utilisées lors des interviews sont disponibles en annexe 5 de ce travail.



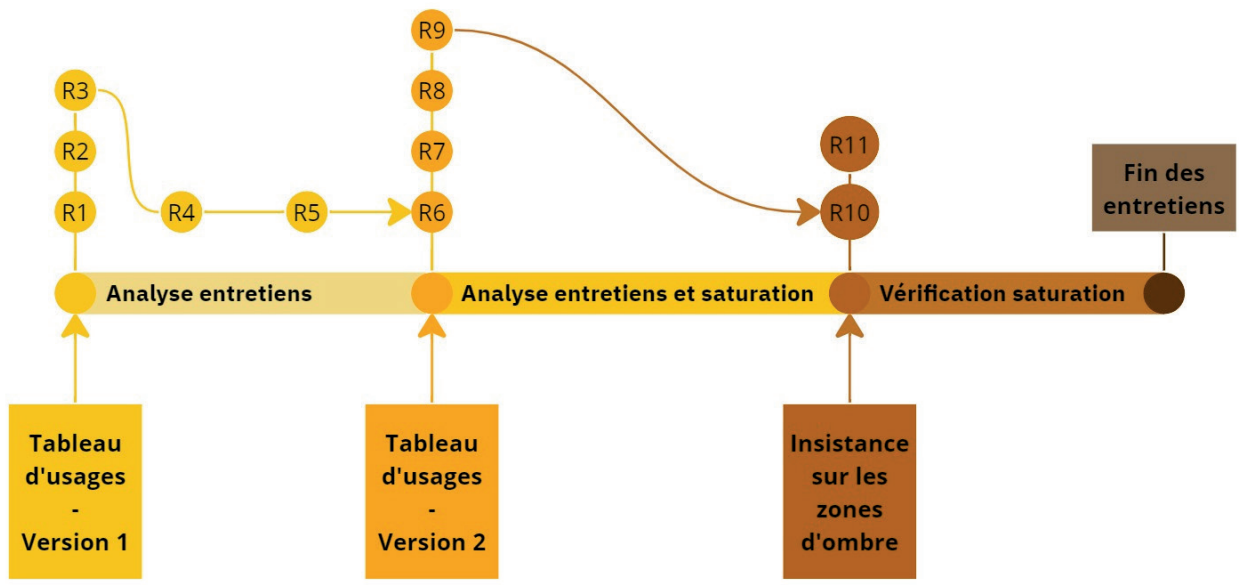


Figure 77 - Evolution du guide d'entretien

## 7.3 Identification de nouveaux usages

Ces entretiens ont permis de récolter un grand nombre d'informations. Nous les avons classées en plusieurs types d'informations en utilisant la méthode décrite dans la section « Traitement du matériau récolté » du chapitre 5. Plus de 800 segments de textes ont été utilisés pour qualifier le matériau relatif aux usages BIM pour la durabilité sociale.

Au cours des entretiens, les concepteurs se sont exprimés sur des usages qui n'étaient pas référencés initialement dans notre guide d'entretien. Comme expliqué précédemment, une préanalyse des premiers entretiens nous a conduit à intégrer une partie de ces usages à notre guide d'entretien, ce qui nous a permis de les confronter aux autres répondants. Il est important de préciser que ces usages ont pu être caractérisés d'idéal par les répondants. Il ne s'agit donc pas d'usages déjà présents dans les pratiques, mais plutôt de la croyance des concepteurs quant à l'utilisation du BIM dans un contexte de projet socialement durable.

En tout, 29 usages supplémentaires ont été identifiés par les répondants. La différence entre les usages initialement présents dans le guide d'entretien et ces nouveaux usages est qu'il s'agit dans le premier cas d'usages testés dans le cadre de différentes expérimentations menées par des chercheurs, alors que dans le second cas il s'agit d'usages perçus par les répondants comme pouvant être faisables et utiles dans un contexte de l'étude de la durabilité sociale d'un projet avec le BIM. Il est donc question d'une perception, qui peut ne pas correspondre réellement à ce qui est faisable d'un point de vue technique.

Ces usages identifiés par les répondants se répartissent dans les différentes thématiques de durabilité sociale que nous avons mises en place dans le premier guide d'entretien. Ces usages sont listés dans le tableau ci-dessous, pour deux d'entre eux il s'agit d'un complément à un usage déjà existant dans la première grille proposée aux répondants (Tableau 28). La seule thématique qui n'a pas suscité la mention à plus d'usages que ceux déjà proposés est la thématique de la communication entre les acteurs. Cette dernière n'est donc pas présente dans le tableau ci-dessous.

Dans les sections suivantes, nous pourrons faire référence à ces sujets et aux réactions qu'ils ont suscitées auprès des répondants, car ces usages ont été proposés aux répondants à partir du sixième entretien.

Catégories d'usages	Usages BIM identifiés par les répondants lors des entretiens
Sécurité	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Modélisation des aménagements liés à la sécurité (échelle de secours, ligne de vie, ...) en phase conception</li> <li>* Modélisation des équipements de chantier par l'entrepreneur, y compris des équipements provisoires ou mobiles (échafaudages, gardes corps, zones de stockages, ...), en intégrant une composante temporelle</li> <li>* Vérification des réglementations et normes d'accès PMR</li> <li>* Visualisation des zones nécessaires à la maintenance des équipements</li> <li>* Utilisation de la maquette en tant qu'interface de visualisation des alertes de sécurité liées à la maintenance des équipements</li> <li>* Utilisation du modèle numérique par les pompiers en cas d'incendie</li> </ul>
Confort des usagers	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simulation de l'éclairage naturel et <i>artificiel</i> (*)</li> <li>- Monitoring de la production d'électricité, de chauffage et de la <i>ventilation</i> (*)</li> <li>* Amélioration de la compréhension du contrôle par les usagers de la consommation des équipements (électricité, chauffage, luminosité, ...) à partir d'une application téléphone</li> <li>* Analyses acoustiques</li> <li>* Analyses des flux de circulation des usagers</li> <li>* Analyse des flux de circulation de l'air</li> <li>* Gestion du patrimoine végétal</li> </ul>
Processus d'apprentissage pour les étudiants et professionnels de la construction	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Apprentissage par simulation en immersion virtuelle (conception, construction, travail en hauteur)</li> <li>* Simulation du processus chronologique de la construction</li> <li>* Apprentissage des jeux d'acteurs dans la construction</li> <li>* Apprentissage des techniques de construction, amélioration de la compréhension des nœuds constructifs</li> </ul>
Patrimoine culturel	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Détection des fissures et des pathologies des bâtiments</li> <li>* Exposition des endroits non-accessibles au public à travers une immersion virtuelle dans une maquette numérique</li> </ul>
Communication avec les usagers	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Communication aux locataires à propos des entretiens à réaliser</li> <li>* Suivi des résolutions des pannes (en attente, en cours, terminé)</li> <li>* Diagnostic des pannes à distance, sur base d'une communication virtuelle avec les usagers</li> </ul>

Tableau 28 - Usages BIM identifiés par les répondants lors des entretiens menés par la doctorante

## 7.4 Acceptation des usages BIM pour la durabilité sociale par les concepteurs

Afin de mesurer l'acceptation sociale des usages que nous avons identifiés dans l'état de l'art, nous avons demandé aux répondants de situer chacun de ces usages dans le passé, le présent, le futur, ou l'idéal. Cette classification s'inspire de celle proposée par la méthode EBAHIE (Leleu-Merviel, 2008). Cette question permet de situer l'usage dans la pratique du répondant : est-ce un usage qui n'est plus d'actualité, qui est dépassé, qui a été remplacé par autre chose ? Ou plutôt un usage qui est pleinement ancré dans les pratiques actuelles ? Ou encore, est-ce un usage qui se dessine dans un futur plus ou moins proche, qui n'est pas encore mis en place mais qui verra très probablement le jour dans l'avenir ? Nous interrogeons également les répondants sur leur vision d'une pratique idéale : quel usage BIM pour la durabilité sociale pourrait être mis en œuvre s'il n'existait aucune contrainte financière, humaine, politique, technique, ... etc. ? Cette partie de la question aide les répondants à s'exprimer sur leurs attentes, et nous permet d'identifier de nouveaux usages BIM qui peuvent participer à la durabilité sociale des projets.

L'analyse des entretiens que nous avons menés permet de mettre en évidence un aperçu des conditions de déploiement nécessaires à l'insertion de l'usage du BIM pour les démarches socialement durables dans les pratiques des concepteurs. Cependant, comme nous l'avons décrit dans le chapitre 3, étudier les conditions de déploiement d'une innovation nécessite d'aborder également la question de son utilisabilité. Nous n'avons pas cherché à ouvrir cette question dans le cadre de notre recherche, il sera donc opportun de compléter cette dernière ultérieurement avec une étude de l'utilisabilité des usages BIM.

Les conditions de déploiement suggérées dans cette section sont exprimées à travers le prisme des attentes des concepteurs, des freins que ces derniers ont identifiés et des conditions qu'ils ont perçues comme nécessaires au développement de notre sujet d'étude dans le cadre de leurs pratiques. Comme décrit dans le chapitre 5, nous faisons appel à des cartes conceptuelles pour analyser ces éléments. Pour chacune de ces cartes, l'épaisseur des traits reliant les éléments entre eux est fonction du nombre de fois où le concept a été abordé dans les entretiens. La légende ci-dessous est d'application pour tous les schémas contenus dans ce chapitre (Figure 78).

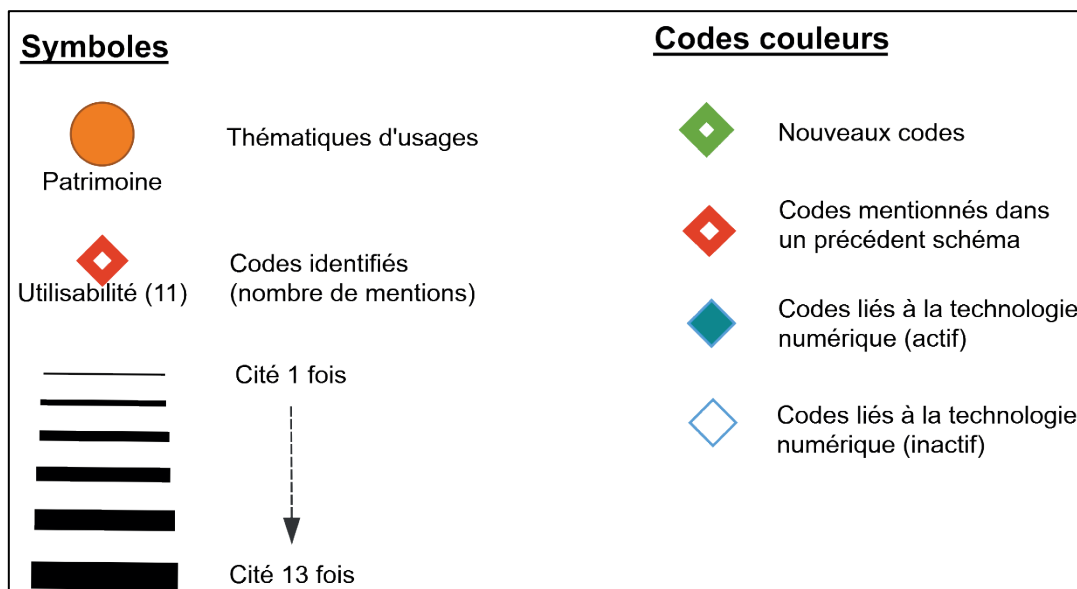


Figure 78 - Légende des schémas conceptuels - Enquête partie 2

Avant de détailler notre analyse, nous souhaitons soulever deux constats qui nous sont apparus après avoir traité la totalité des entretiens.

Premièrement, nous notons que malgré le fait que, lors des entretiens, nous avons contextualisé auprès des répondants le caractère social des usages que nous leur avons présentés, certaines réponses semblent plutôt concerner l'adoption du BIM de manière générale. Par conséquent, certains éléments de réponse peuvent ne pas concerner de manière exclusive les usages BIM dans un contexte de durabilité sociale. Cela peut s'expliquer par une adoption du BIM qui n'est pas encore complètement intégrée à son plus haut niveau dans la communauté des concepteurs (Hochscheid & Halin, 2020a). Cela pourrait se ressentir dans les réponses récoltées, malgré que nous ayons sélectionné des profils de précurseurs. Cependant, l'apparition de ces éléments dans les réponses nous permet de tirer la conclusion que pour que l'intégration des usages BIM orientés vers la durabilité sociale des projets soit optimale, les concepteurs estiment que le niveau d'adoption du BIM dans la communauté des concepteurs devrait être amélioré, et que le niveau d'adoption actuel constitue un frein à la mise en place des usages BIM dans un contexte de durabilité sociale.

Deuxièmement, nous observons que la thématique du patrimoine culturel est globalement moins développée que les autres thématiques par les répondants. Cela peut s'expliquer par le fait que nous n'avons sélectionné aucun répondant sur base d'une expertise particulière dans la thématique du patrimoine culturel, alors qu'il s'agit d'un domaine d'expertise à part entière. En effet, bien que plusieurs répondants aient exprimé avoir déjà eu l'occasion de travailler dans un contexte patrimonial remarquable, aucun n'en a fait sa spécialité professionnelle. Par conséquent, il est possible que les personnes interrogées n'aient pas une pleine connaissance des pratiques liées à cette thématique. Il pourrait être pertinent, dans l'objectif de compléter ce travail, d'interroger un public ciblé sur des experts en patrimoine afin de recueillir leur perception des choses quant à cette thématique.

### 7.4.1 Les attentes des concepteurs

A travers leurs réponses, les répondants ont manifesté plusieurs attentes quant au déploiement du BIM dans un contexte de durabilité sociale. Plusieurs concepts ressortent de notre analyse des verbatims récoltés lors des entretiens (Tableau 29). Parmi ces concepts, certains sont en lien avec plusieurs thématiques d'usage, d'autres sont spécifiques à une seule thématique. Les deux thématiques qui génèrent le plus de diversité dans les attentes sont le confort des usagers et la communication entre les acteurs du projet. L'attente la plus forte, commune à cinq thématiques d'usages sur six, est celle de l'utilisabilité des technologies et processus. La seule thématique dans laquelle cette attente n'a pas été citée est celle des processus d'apprentissage pour les étudiants et les professionnels de la construction.

Codes	Nombre de segments codés	Nombre de documents contenant le code
Rendre les usagers autonomes	15	7
Utilisabilité	11	11
Portatif	9	6
Contrôler le bâtiment	7	5
Gain de temps	4	4
Augmenter la satisfaction	2	2
Diminution des risques	2	2
Récolter des feedbacks innovants	2	2
Réduire les conflits	1	1
Renouveler les process de construction	1	1

Tableau 29 - Aperçu des concepts identifiés dans l'analyse des attentes des concepteurs quant à l'emploi du BIM dans un contexte de construction socialement durable

Dans les sections suivantes, nous traitons chacune de ces attentes par thématique d'usage. Nous faisons cependant une exception pour l'attente liée à l'utilisabilité des technologies et des processus, que nous traitons dans une section dédiée. En effet, il s'agit d'une attente qui s'est manifestée dans toutes les catégories d'usages.

#### 7.4.1.1 L'utilisabilité des technologies et des processus

En ce qui concerne la thématique de la sécurité, un répondant souligne l'importance de la facilité d'utilisation des systèmes mis en place. Il lie la facilité d'utilisation au recours à la réalité augmentée. Un autre répondant mentionne que les acteurs de la sécurité ne sont pas toujours formés à l'utilisation d'outils numériques. En parlant des pompiers, il propose le recours à des technologies simples telles que des vidéos pour communiquer avec ces acteurs. Ces deux répondants suggèrent des approches opposées pour faciliter selon eux les démarches : l'un se tourne vers une technologie avancée, la réalité augmentée, alors que l'autre favorise un retour à la simplicité avec une technologie déjà bien ancrée dans les usages quotidiens.

*« Et si c'est pas facile, si c'est pas intuitif, ça ne sert à rien pour des métiers de la sécurité. Donc je pense que la facilitation est un point crucial, et donc je pense que la réalité augmentée peut peut-être jouer un rôle là-dedans » (R1, architecte)*

*« Peut-être avec un film où tu dois juste faire play et tu [l']as en une minute, tu dois juste regarder, c'est peut-être plus simple pour eux. » (R9, architecte)*

A propos du confort des usagers, un répondant situe le BIM comme un agent permettant de faire appel à des outils plus intuitifs dans la communication avec les usagers du projet sur leur consommation d'énergie, qui impacte leur confort. Ce répondant insiste également sur le fait que le BIM n'est pas indispensable selon lui pour réaliser ce genre de démarche, mais qu'il pourrait les faciliter. Dans cet exemple daté d'une dizaine d'années, les usagers sont amenés à prendre connaissance de leur consommation et à la partager publiquement avec leurs voisins, ce qui pourrait aujourd'hui représenter un problème en ce qui concerne la protection des données.

*« J'ai déjà vu un projet il y a déjà même 10 ans, en Suisse. Il n'y avait pas de BIM, c'était un nouveau quartier résidentiel avec vraiment une démarche environnementale très poussée et ils avaient mis au centre du quartier un local avec des écrans où ils montraient les consommations d'énergie de tous les habitants. Et du coup les habitants pouvaient aller consulter leur consommation par rapport à leurs voisins et du coup se challenger entre eux pour essayer de consommer moins que leurs voisins et se dire "Tiens pourquoi moi je consomme plus que toi alors qu'on a la même baraque ?". Donc ça je pense que ça pourrait se faire sans le BIM mais que le BIM va pouvoir permettre de faciliter ça et d'amener ça à travers des outils beaucoup plus intuitifs » (R1, architecte)*

Dans la thématique patrimoine culturel, la seule attente évoquée par les répondants concerne justement l'utilisabilité. En effet, un répondant discute de la précision des maquettes numériques de bâtiments à valeur patrimoniale. La particularité des maquettes de ce type de bâtiments est qu'elles sont réalisées plusieurs dizaines ou centaines d'années après la construction de l'édifice, au contraire des maquettes relatives aux bâtiments neufs. En effet ces derniers voient leur maquette se construire au fur et à mesure de la conception du projet, les données qui s'y trouvent servent donc en phase de construction, ce qui aide les concepteurs à choisir les informations à renseigner. Le répondant ci-dessous fait référence au manque de précision des informations présentes dans les maquettes réalisées post-construction, et l'oppose à la quantité importante d'informations qui pourrait s'y trouver si l'on souhaitait renseigner l'information de manière exhaustive. Ce deuxième cas de figure générerait selon le répondant une difficulté de manipuler des fichiers de données lourds. Cela entraîne un faible taux d'utilisabilité dans le recours au processus BIM, et générerait selon le répondant une perte d'information.

« **Il y a l'information, mais elle est pas assez précise. Mais ce serait trop lourd au bout d'un moment, si on avait tout, tout le temps, tout au même endroit je pense. Surtout à cette échelle-là, parce qu'un bâtiment en BIM c'est quand même ... suivant l'information qu'il y a dedans c'est très lourd, c'est très compliqué à manipuler derrière donc en fait c'est normal, je pense, que l'info arrive, se perde, soit rajoutée, se reperde d'une autre façon selon les utilisations. Je pense que c'est ça aussi qui fait que ça vit, et ça vit dans le sens où les utilisateurs en ont besoin** » (R8, architecte)

La communication avec les usagers est également visée par l'attente de l'utilisabilité. En effet, communiquer avec les usagers est perçu comme un usage qui doit être facile d'utilisation, sous peine de « perdre » des acteurs au cours de la communication. Cela est également vrai en ce qui concerne la communication entre les acteurs du projet. Le recours à des processus BIM en tant qu'outil de communication est perçu comme devant être accessible même aux acteurs non-experts du BIM.

« **Quand il y a des outils qui peuvent aider ça, ce process, ça c'est super. Mais aussi, ça doit être pas trop compliqué pour le technicien... "Ah je vais scanner, je vais donner ce code-là, je vais faire ça et ça". On perd le type** » (R9, architecte)

« **[Il faut] que ça ne demande pas d'avoir une formation poussée sur un outil pour pouvoir l'utiliser au mieux. Si ça devient trop lourd à utiliser, ça va pas aider les gens. C'est pas si facile de faire changer la façon de travailler.** » (R5, ingénieur)

Dans cet extrait, le répondant fait également allusion à la difficulté de modifier des mœurs de travail chez des acteurs qui ont toujours fonctionné sans le processus BIM, et doivent désormais s'adapter à de nouvelles règles de communication. L'utilisabilité est donc un concept central en ce qui concerne les attentes des répondants. Elle est liée à une grande partie des thématiques proposées aux personnes interrogées dans le cadre de nos entretiens (Figure 79).

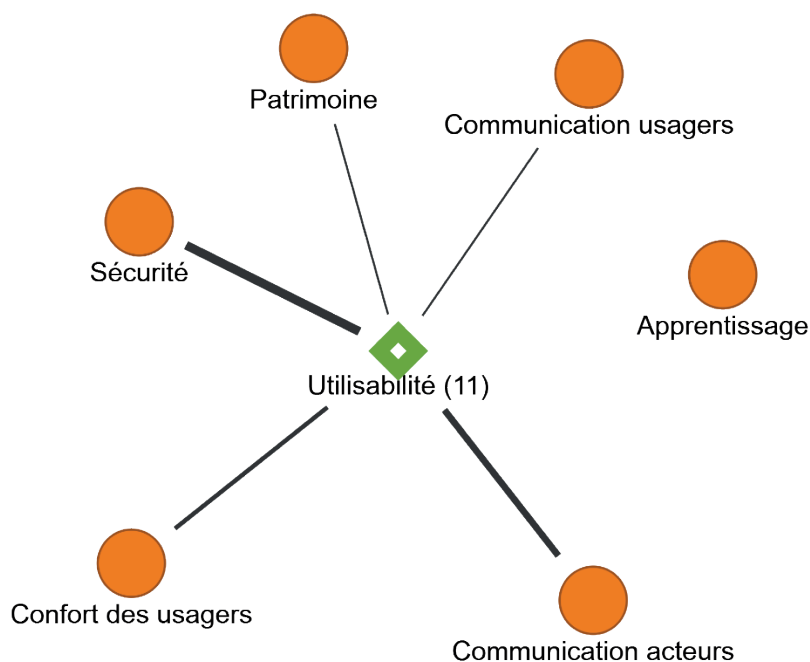


Figure 79 - Carte conceptuelle en réseau des attentes des concepteurs interrogés - Utilisabilité



#### 7.4.1.2 Les attentes liées au confort des usagers

Dans la thématique du confort des usagers, trois attentes supplémentaires ressortent de la phase d'analyse des entretiens. Il s'agit du caractère portatif, du contrôle du bâtiment et de rendre les usagers autonomes. Plusieurs répondant s'expriment sur l'intérêt que représente pour eux le fait de rendre portable et transportable les informations numériques du bâtiment, notamment dans l'objectif de pouvoir contrôler les données techniques liées à la consommation sans se trouver sur le site même.

*« C'est quelque chose **probablement qu'on va faire dans le futur parce qu'on a maintenant déjà un système**, SCADA [Supervisory Control and Data Acquisition], c'est un système interne, qui est très schématique. Tu vois le bâtiment, il est très simple, et pour les éléments techniques **le technicien à la maison sur son ordinateur il peut adapter la ventilation à 30% ou 50%, ou le chauffage, la température, ... il peut les adapter** » (R9, architecte)*

Le caractère portatif est, selon les répondants, destiné aux experts comme mentionné dans l'extrait ci-dessus, mais également aux usagers eux-mêmes à travers des supports plus démocratisés tels que des téléphones ou des tablettes.

*« Ce que je suis persuadé, c'est que le BIM avec le smart, ensemble, vont amener la notion de digital twin qui permettra plus aisément avec, comme je le disais, **un gsm ou une tablette ou quoi que ce soit à l'utilisateur**, en général **grâce aux appareils connectés**, à un moment de beaucoup plus directement, **rapidement réagir avec son environnement**, en termes de chaud de froid, de lumière, un tas de trucs parce que ça aura des impacts positifs, négatifs, d'un point de vue purement humain **ça devrait être positif puisque ça facilitera les choses mais comme ça n'existe pas encore réellement on ne sait pas en juger vraiment les impacts** » (R1, architecte)*

Le caractère portatif est associé à une envie de rapidité dans le traitement des informations par les usagers, ce qui est vu comme quelque chose de positif, bien que le répondant souligne qu'il n'a jamais vu cela de ses yeux et qu'il ne se sent donc pas capable de juger des conséquences de ce genre de technologie. Cependant, ce répondant estime que cette innovation va se produire de manière certaine, lorsque le BIM sera associé aux smart buildings. Cela réorganisera les relations entre humain et bâtiment puisque la gestion de ce dernier ne sera plus exclusivement réservée aux experts, mais elle pourra être à la portée des usagers même s'ils ne sont pas initiés à la technologie BIM. Le répondant perçoit cela comme une plus-value conséquente car cela augmentera selon lui le confort des usagers.

*« Je pense qu'il y a un gros changement qui va s'opérer dans le secteur de la construction, c'est l'intégration du smart et du coup une fois que le smart s'intègre au modèle BIM, évidemment **les deux ensembles vont avoir une énorme plus-value**, ça veut dire qu'on va arriver à des bâtiments qui **au lieu d'être monitorés exclusivement par un facility manager externe, les personnes auront de plus en plus facile à interagir avec le bâtiment grâce à leur smartphone**, grâce aux objets connectés, l'IOT etc. et que **le modèle BIM peut servir de support à bien comprendre les choses donc le confort peut augmenter**, ça peut avoir un impact sur l'environnement autant négatif que positif donc*

*on va se limiter au titre, au niveau du confort je pense qu'effectivement ça va permettre d'aider les choses. » (R1, architecte)*

Un autre répondant complète ce discours en abordant le sentiment de sécurité pour l'utilisateur, qui est généré par la connaissance précise de sa consommation énergétique. Il utilise pour cela l'exemple de la hausse du coût des énergies qui s'est produite en hiver 2022.

*« Le côté monitoring de l'électricité et du chauffage moi je le vois plus comme le côté "savoir", et du coup il y a un côté de sécurité quand tu sais. Il y a combien de gens qui ont été surpris par leur consommation, et par leur facture énergétique. Et donc tous les gens qui ont des panneaux solaires ont leur application sur leur téléphone et sont très heureux de regarder quand ils sont au bureau, de voir combien leurs panneaux sont en train de consommer. Mais ce côté un peu "résumé Google de ton mois", de dire où t'as été, ce que t'as fait, combien t'as consommé, pour être sûr que t'es dans le bon. Et donc tu sais et t'es pas surpris quand ta facture arrive, ou tu dis " Tient c'est bizarre j'ai quand même beaucoup consommé, il y a pas une fuite quelque part ou il y a pas un truc qui foire ?" Donc moi je vois le côté sécurité dans le côté savoir, ou rassurer. » (R7, architecte)*

Le caractère portatif est donc lié à une autre attente, celle du contrôle du bâtiment, qui peut être un élément clé dans le confort des usagers. En effet, nous avons vu dans le chapitre 2 que contrôler son environnement était un facteur de bien-être pour les usagers d'un bâtiment. Cette idée est également abordée dans les réponses à nos entretiens.

*« Je pense qu'il y a aussi l'action. Ici on peut accéder au thermostat et demander plus chaud, plus froid, on peut ouvrir les fenêtres. Quand les gens peuvent agir sur leur environnement ils l'acceptent déjà plus, et dans ce sens-là c'est ce que je disais tout à l'heure, ce qui a été mis en place ici, ce qu'on souhaite mettre en place, le fait de pouvoir dire "Ah beh tiens oui c'est une bonne idée d'aller ouvrir ta fenêtre", ça peut aider je pense. Donc de laisser la possibilité aux gens d'agir sur leur climat intérieur, tout en les aidant à faire les bonnes choses. » (R5, ingénieur)*

Dans cet extrait, le répondant voit dans le BIM un intérêt dans le fait d'assister les usagers, afin de les guider vers les bons choix dans la gestion du bâtiment. En faisant cela, le BIM permet de rendre les usagers plus autonomes, ce qui représente une autre attente formulée par les concepteurs interrogés.

*« Historiquement ils étaient dans la main d'un expert, là où le BIM va amener une plus-value c'est que ça va permettre peut-être, de nouveau en digital twin, d'aider à la compréhension et de rendre ça aussi smart pour prendre un terme un peu générique, plus accessible et donc de permettre aux utilisateurs eux-mêmes de comprendre leur impact sur le bâtiment de chauffage, de froid, de confort, etc. et du coup d'avoir un impact environnemental parce qu'ils vont s'auto challenger ou se challenger avec d'autres personnes. » (R1, architecte)*

En améliorant la compréhension que les usagers ont de l'environnement dans lequel ils vivent ou travaillent, le BIM participe à la clarification de sujets qui peuvent sembler opaques pour les usagers. Un répondant suggère le recours à des arbres à choix pour guider les prises de décisions

*« Il y a un côté, oui il faut isoler, il faut rénover mais il y a une connaissance de tout ça qui est hyper faible de certains matériaux qui sont tellement consommateurs d'énergie (...). J'ai l'impression qu'un arbre à choix serait tellement facile à faire, un peu comme les petits, ça porte un nom là, les petits helpdesks que t'as quand t'arrives sur une page web, là où tu poses une question mais il a déjà un arbre à choix de questions et c'est un petit bot de je sais pas quoi, un petit wizard, widget qui travaille derrière. J'ai l'impression qu'un bon outil comme ça avec des... oui de dire "vous avez un bâtiment de quelle année", "vos murs sont comment", "où est ce qu'il y a une tâche d'humidité". » (R7, architecte)*

Plusieurs répondants apportent des précisions à propos de leur perception des attentes des usagers sur la question de l'augmentation de leur confort. L'un d'entre eux, travaillant pour un bailleur social, révèle que lors d'une enquête réalisée en interne il est constaté que les trois éléments qui tiennent le plus à cœur des usagers de leurs bâtiments sont la sécurité, les économies d'énergie et la gestion des demandes d'intervention. Sur ce dernier point, le répondant propose un parallèle entre le suivi de colis commandés en ligne sur une application dédiée et le suivi de résolution des pannes du bâtiment grâce à des outils numériques issus des données disponibles dans la maquette BIM.

*« On a fait des enquêtes auprès des locataires sur quels équipements ils souhaitaient voir venir en premier. Le premier c'est la sécurité, c'est tout ce qui est lié à la sécurité. Le deuxième, même si je ne suis pas sûr qu'ils voient exactement ce qu'il y a derrière, c'est tous les aspects d'économie d'énergie c'est-à-dire comment ces services-là peuvent les aider à faire des économies d'énergie. Et puis le troisième c'est tout ce qui permet d'avoir de la formation sur des demandes d'intervention qu'ils peuvent faire, (...) la plupart d'entre nous commence à avoir l'habitude de dire [que] quand on commande quelque chose à distance, on sait où est notre colis, on sait quand est-ce qu'il part, on sait où il en est, on sait à quel jour il va arriver, voire jusqu'à quelle heure il va arriver. Ils ont la même envie d'avoir ce type d'informations sur des interventions liées, il y a une panne, il y a quelqu'un qui leur répond en disant "On a bien pris en compte votre panne, on va venir tel jour à telle heure", et puis à la fin on fait signer à distance numériquement le fait que c'est fait ou que ce n'est pas fait. » (R3, ingénieur)*

Un répondant estime que dans le cadre du lieu de travail, les usagers attendent de leur employeur une forme d'excellence dans les équipements, plus marquée que dans leur propre domicile. Le confort dans les espaces de bureaux est alors perçu par les usagers comme un élément qui doit être optimisé, offrant les meilleures conditions possibles aux travailleurs.

*« Et peut-être que notre comportement va être influencé par ce qu'on va lire [sur le thermostat]. Plus que par notre ressenti finalement. Je trouve que le point du confort est hyper compliqué à gérer dans un immeuble. Et en fait beaucoup plus encore dans un immeuble de bureau que dans un immeuble de logement. Souvent on va avoir nos collègues ici qui vont dire des choses et on va leur demander "Oui mais chez toi, tu fais quoi ?" T'arrives chez toi, tu vois qu'il fait un peu chaud, qu'est-ce que tu fais ? T'as pas la clim chez toi. Même si y en a certains qui ont la clim mais on est encore peu nombreux à avoir la clim chez soi, et donc on accepte qu'il fasse un peu plus chaud. Et puis ça va. Et au bureau par contre il faut vraiment que la température soit celle qu'on souhaite (...)*

*C'est aussi sur le fait qu'ils sont au travail, on leur met à disposition un espace de travail et donc ils estiment que ça doit être le meilleur confort possible. Alors que chez eux les systèmes qu'ils ont mis en place c'est eux qui les ont mis en place... » (R5, ingénieur)*

Les attentes des concepteurs liées à la thématique du confort des usagers sont donc l'utilisabilité, l'autonomie des usagers, le caractère portatif, et le contrôle du bâtiment. Les attentes des usagers eux-mêmes sont aussi un point d'intérêt pour les concepteurs (Figure 80).

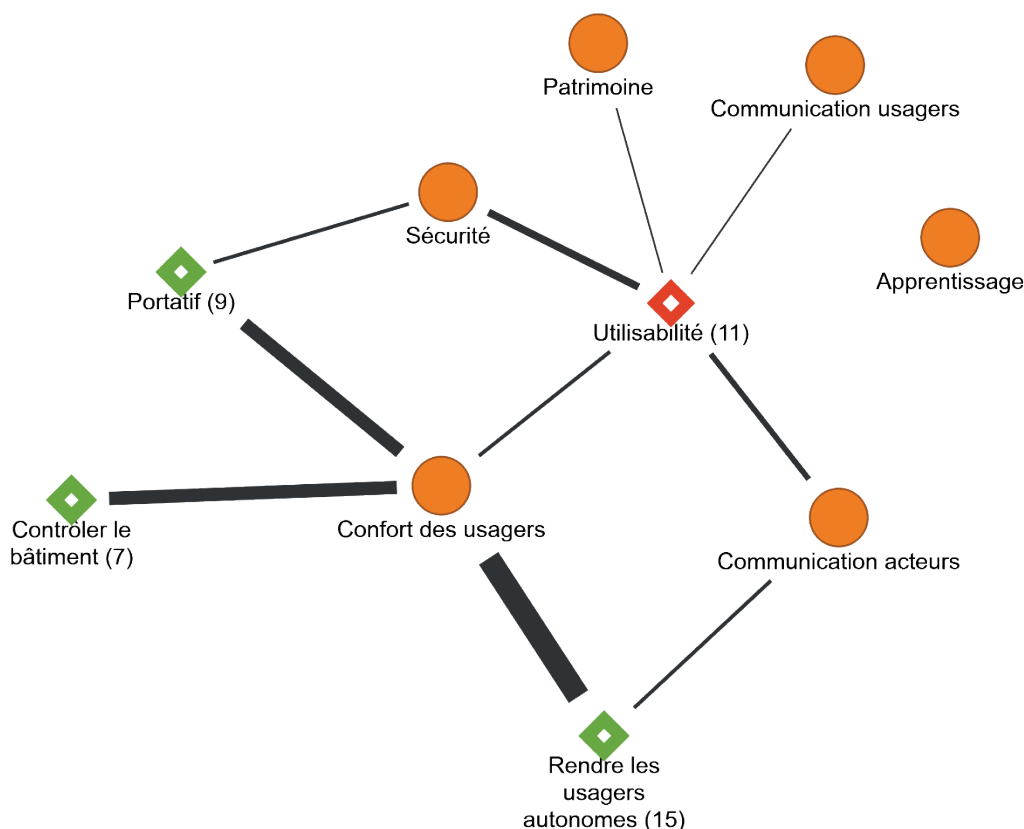


Figure 80 - Carte conceptuelle en réseau des attentes des concepteurs interrogés – Confort des usagers

#### 7.4.1.3 Les attentes liées à la communication entre les acteurs

Dans la thématique de la communication entre les acteurs, les attentes identifiées sont l'utilisabilité, l'autonomie des usagers qui est une attente commune avec la thématique du confort des usagers, le renouvellement des processus de communication, la réduction des conflits, l'augmentation de la satisfaction et le gain de temps. L'autonomie des usagers est citée dans un contexte de location de bureaux d'une entreprise à une autre, le répondant mentionnant que les modèles BIM bruts sont trop complexes pour être manipulés par des personnes non-initiées au BIM. Il réclame un autre moyen de communication entre les acteurs, qui soit moins demandeur en compétence.

*« Il faut réussir à faire en sorte qu'on ait des modèles "locataires" qui soient intégrés dans un modèle global et que le locataire lui-même prenne en charge son propre modèle de son aménagement intérieur. (...) Quand tu as plusieurs locataires dans un immeuble à un moment si chacun aménage son étage à sa manière, il faut qu'il ait la main aussi. S'il l'a pas il ne va rien se passer, il faut qu'il ait la main et les compétences. Ça peut fonctionner pour des boîtes comme nous où on a des locataires qui ont des*

*architectes mais **quand tu demandes vraiment au hand user de commencer à modéliser alors qu'il n'est pas architecte, qu'il n'est pas ingénieur, qu'il n'est pas du monde de la construction, pour moi il faut trouver d'autres passerelles, il faut trouver d'autres moyens d'échanger de l'information.** » (R1, architecte)*

La communication entre les acteurs via les processus BIM est perçue comme un moyen d'atteindre plus de sérénité dans les collaborations, ce qui devrait générer plus de satisfaction chez les acteurs qui sont amenés à communiquer entre eux au cours du projet.

*« Je crois qu'il y aura moins de conflits et de problèmes légaux. Que juste le fait que la communication et la collaboration sera améliorée, ça limite les conflits, les malentendus, les disputes. Je crois que ça favorise juste que **tout le monde se retrouve plus content à la fin. Plus satisfait de ce qui a été fait parce que tout le monde a compris ce qui a été fait plus tôt et a mieux discuté tout au long et je crois que ça limite les conflits** » (R6, architecte)*

Le gain de temps est aussi une attente des répondants qui ont recours aux processus BIM pour communiquer. Un répondant prend en exemple une expérience personnelle vécue sur un précédent chantier réalisé en collaboration avec un autre bureau via des processus BIM. Il compare ces derniers avec les processus de communication traditionnels en évoquant la perte de temps subie sur les chantiers pauvres en processus numérique. Le même répondant complète sa vision en affirmant que pour que le BIM puisse être employé comme outil de communication, les processus de communication doivent être renouvelés pour éviter d'être obsolètes. Nous l'avons décrit dans le chapitre 1, les processus de communication dans le milieu de l'architecture sont en cours de mutation, notamment par le développement de nouveaux modes de communication liés aux outils numériques. Cependant, ce témoignage souligne que cette mutation n'est pas terminée, et n'a en tout cas pas encore abouti auprès de tous les acteurs de ce domaine.

*« Je pense que durant le projet **ça a résolu quand même pas mal de choses**, on a fait beaucoup de préfab avec des murs en béton, de la structure métallique qui a été précommandée. Donc oui **ça gagne du temps et ça évite certaines erreurs**. Moi j'ai été un des premiers au bureau à prôner un truc de rapport de chantier numérique parce que **c'était une perte de temps exagérée.** » (R7, architecte)*

*« Parce que **les process sont de toute façon trop... beh ouais trop vieux, trop obsolètes dans la construction**. Penser un peu large, ça pourrait retomber sur un juste milieu qui est pas mal. » (R7, architecte)*

Les attentes des concepteurs liées à la thématique de la communication entre les acteurs sont donc l'utilisabilité, l'autonomie des usagers, le renouvellement des processus de communication, la réduction des conflits, l'augmentation de la satisfaction des acteurs qui collaborent et le gain de temps (Figure 81).

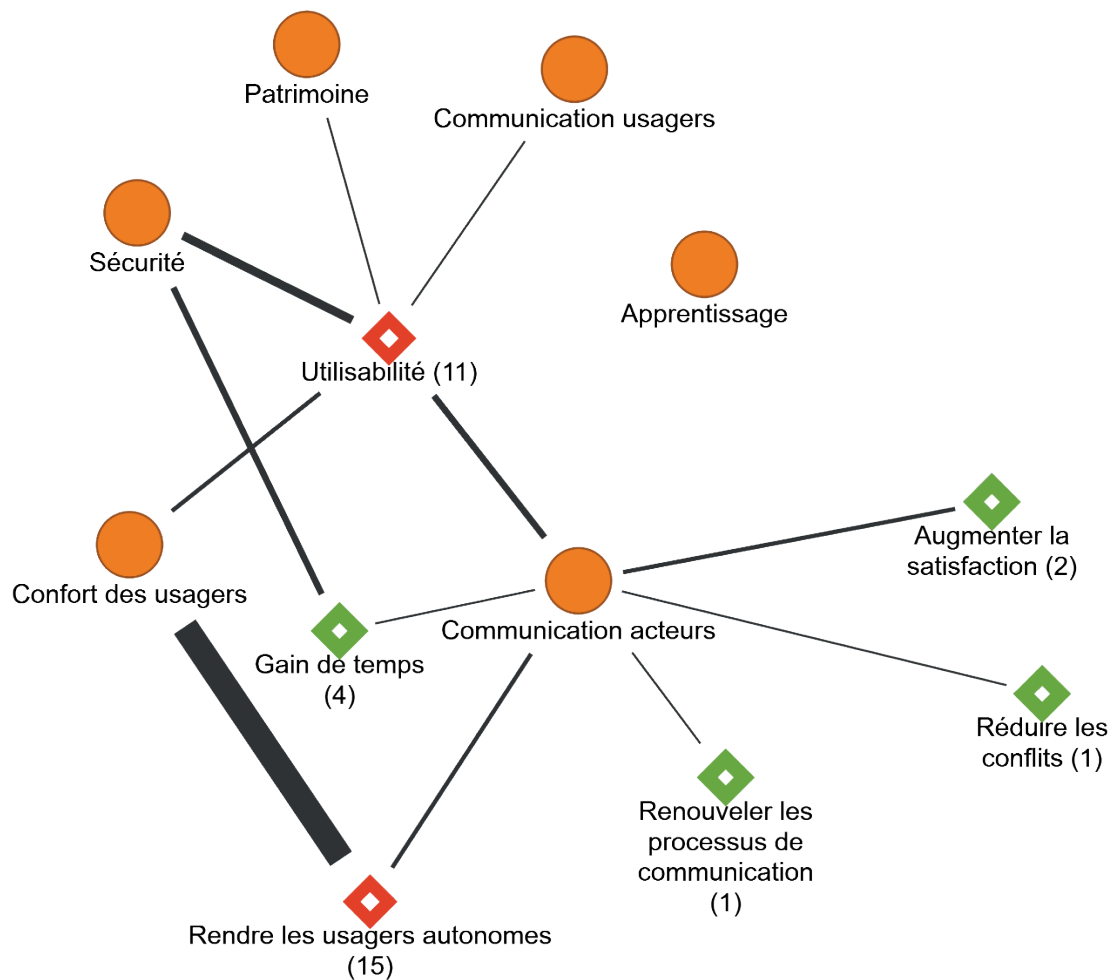


Figure 81 - Carte conceptuelle en réseau des attentes des concepteurs interrogés – Communication entre les acteurs

#### 7.4.1.4 Les attentes liées à la sécurité

En ce qui concerne la thématique de la sécurité, les attentes des concepteurs sont liées à l'utilisabilité, au gain de temps et au caractère portatif. Plusieurs répondants insistent sur le fait que, quand cela concerne la sécurité, il faut absolument que les processus soient faciles à appliquer et à comprendre par les acteurs qui les manipulent. L'un d'entre eux met la facilité d'utilisation en lien avec le recours à la technologie de la réalité augmentée.

*« Et si c'est pas facile, si c'est pas intuitif, ça ne sert à rien pour des métiers de la sécurité. Donc je pense que la facilitation est un point crucial, et donc je pense que la réalité augmentée peut peut-être jouer un rôle là-dedans » (R1, architecte)*

*« Je trouve ça assez intéressant de pouvoir prévoir les différentes phases, et du coup les différents aménagements de sécurité qu'il va y avoir. Et que ce soit garanti et qu'il y ait un rapport dans le chantier. Oui je trouve ça très intelligent comme méthode. Il faut pas que ce soit trop lourd mais ça amènerait un vrai travail au coordinateur sécurité-santé. C'est pas mal. (R7, architecte)*

Un répondant exprime que dans son entreprise, l'objectif est d'utiliser la maquette numérique générée au cours du processus BIM comme outil de visualisation des alertes de sécurité via un outil portable tel qu'un I-pad. Plusieurs répondant font référence à ce type d'outils qui permettent de

visualiser les propositions dans le but de faciliter la communication et de gagner du temps, ce qui constitue une troisième attente de la part des concepteurs.

*« L'info graphique, la visualisation, est intégrée dans le même outil qui contient toutes les informations du projet. Aussi les choses de sécurité, "attention c'est haute tension" ou quelque chose comme ça » (R9, architecte)*

*« Je sais que pour les accidents de travail ils essaient de schématiser beaucoup plus et de travailler avec des gens pour faire des schémas de sécurité sur site. Pour justement faire comprendre tout ça. Parce que c'est beaucoup beaucoup plus efficace. » (R7, architecte)*

Les attentes des concepteurs concernant la thématique de la sécurité dans un contexte de processus BIM sont donc premièrement l'utilisabilité, qui est en lien également avec le patrimoine, la communication avec les usagers, la communication entre les acteurs et le confort des usagers, deuxièmement le caractère portatif qui est aussi en lien avec le confort des usagers, et troisièmement le gain de temps qui est en aussi en lien avec la communication entre les acteurs. (Figure 82).

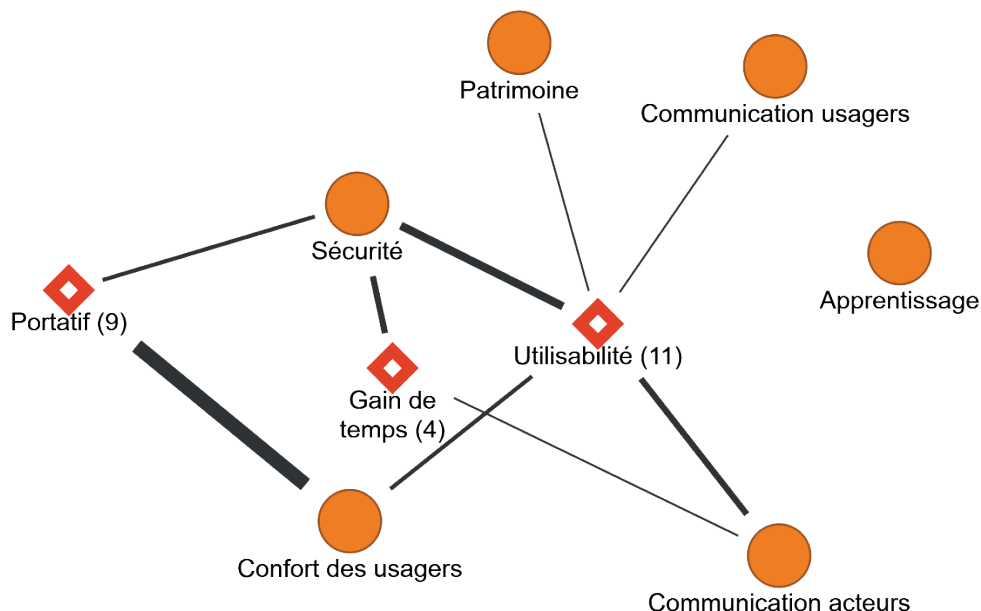


Figure 82 - Carte conceptuelle en réseau des attentes des concepteurs interrogés – Sécurité

#### 7.4.1.5 Les attentes liées à la communication avec les usagers

Dans la thématique de la communication avec les usagers, la seule attente identifiée par les concepteurs est celle de la récolte de feedback innovants, en plus de celles de l'utilisabilité et de l'autonomie des usagers déjà mentionnées (Figure 83). Plusieurs répondants, en faisant référence à l'emploi du BIM pour communiquer avec les usagers, précisent que cela peut servir de support pour extraire un maximum d'idées innovantes chez les personnes participant au processus de conception, même si selon lui cela peut prendre plus de temps qu'un processus de communication classique.

« En même temps c'est aussi une force parce que parfois on a des feedbacks et des retours qui peuvent amener des solutions innovantes et intéressantes qu'on n'aurait pas imaginé au début » (R1, architecte)

« Ça peut sans doute être plus long en termes de préparation d'opération mais en même temps ça peut être une façon assez économique de tester toutes les idées des uns et des autres, de simuler, de visualiser les propositions des uns et des autres. Ça peut-être je pense un support qui peut éviter les surprises » (R3, ingénieur)

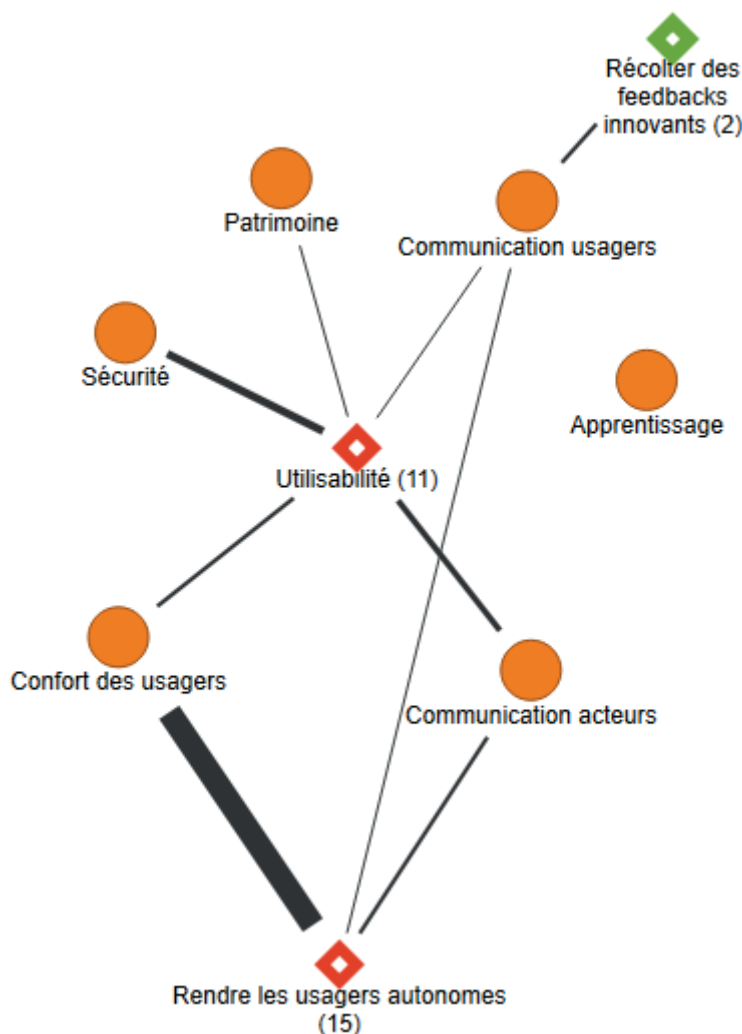


Figure 83 - Carte conceptuelle en réseau des attentes des concepteurs interrogés – Communication avec les usagers

#### 7.4.1.6 Les attentes liées aux processus d'apprentissage et au patrimoine culturel

Dans la thématique de l'apprentissage, une seule attente est identifiée par les concepteurs. Il s'agit de la diminution des risques en ayant recours à des technologies d'immersion virtuelle. Cette proposition est également mise en lien avec la thématique de la sécurité. En ce qui concerne le patrimoine, les concepteurs interrogés n'ont pas identifiés d'attentes en particulier.

« Ce que demain a encore une plus-value à être développé réellement c'est **toute la partie simulation et apprentissage par immersion virtuelle**. Je voulais en parler dans la



*partie sécurité, j'ai oublié de lever le point, j'ai vu plusieurs exemples de développement en cours, de mise en application de cursus virtuel avec des engins de chantier très lourds et très dangereux comme des simulateurs en fait, des simulateurs d'apprentissage d'engins de chantier je pense que c'est très pertinent, ça supprime tous les risques, on est dans un local protégé et on manipule des grues qui font plusieurs tonnes. » (R1, architecte)*

#### 7.4.1.7 Synthèse

En conclusion, les répondants se sont exprimés au sujet de dix attentes concernant les usages BIM dans un contexte de durabilité sociale (Figure 84). Le concept le plus central dans les propositions des répondants est celui de l'utilisabilité (présent dans 11 segments analysés), qui est mise en lien avec les thématiques de la sécurité, du confort des usagers, de la communication entre les acteurs, de la communication avec les usagers et du patrimoine. « Rendre les usagers autonomes » est le concept le plus souvent abordé (présent dans 15 segments analysés). Ce dernier est mis en lien majoritairement avec la thématique du confort des usagers et de manière plus discrète avec la thématique de la communication entre les acteurs. Le caractère portatif (présent dans 9 segments analysés) est quant à lui mis en lien avec la thématique de la sécurité et du confort des usagers.

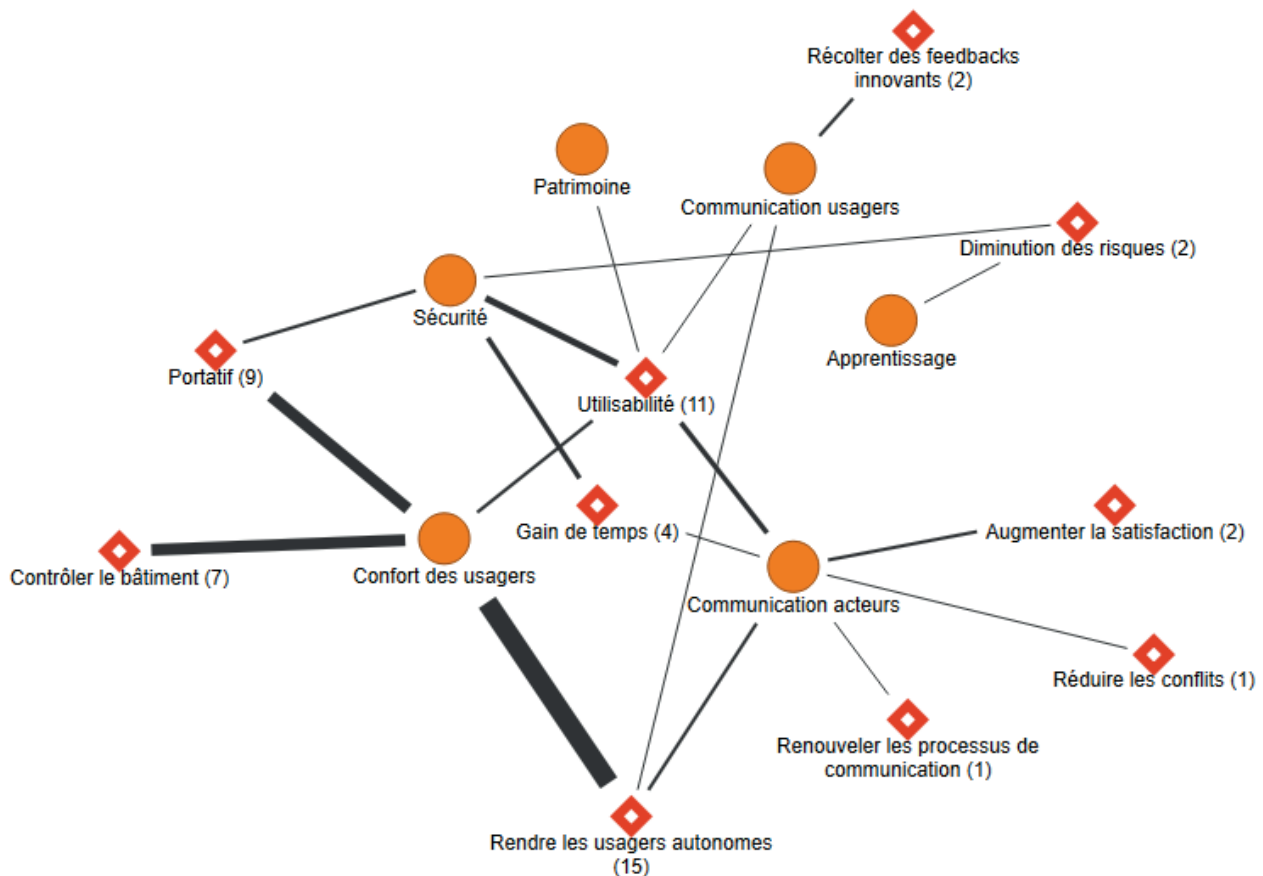


Figure 84 - Carte conceptuelle du réseau des attentes identifiées par les concepteurs quant à l'emploi du BIM dans un contexte de projet socialement durable

Dans la thématique sécurité, en plus du concept d'utilisabilité et de celui du caractère portatif, les répondants ont exprimé le concept de gain de temps (présent dans 3 segments analysés) et de diminution des risques (présent dans 1 segment analysé). Dans la thématique du confort des usagers, qui est également liée à l'utilisabilité et au caractère portatif, les répondants ont fait référence au fait de rendre les usagers autonomes et au contrôle du bâtiment (présent dans 7 segments analysés). Dans la thématique de la communication entre les acteurs, en plus de l'utilisabilité et de rendre les usagers autonomes, les répondants ont exprimé une attente quant au fait de gagner du temps (présent dans 1 segment analysé) et quant à l'augmentation de la satisfaction (présent dans 2 segments analysés). Ensuite, de manière plus discrète, des attentes concernant le renouvellement des processus de communication et la réduction des conflits (chacun présent dans 1 segment analysé). La thématique des processus d'apprentissage pour les étudiants et les professionnels de la construction n'a été associée qu'à une seule attente, celle de la diminution des risques pendant les phases d'apprentissage (présent dans 1 segment analysé). Dans la thématique de la communication avec les usagers, en plus de l'attente concernant l'utilisabilité, les répondants se sont exprimés sur le fait de récolter des feedbacks innovants (présent dans 2 segments analysés). Enfin, la thématique du patrimoine n'a été affectée à aucune attente en particulier, autre que celle de l'utilisabilité.

On observe dans le tableau ci-dessous (Tableau 30) que la communication entre les acteurs est la thématique qui suscite le plus d'attentes différentes (six attentes différentes exprimées). En deuxième position viennent les thématiques du confort des usagers et de la sécurité (quatre attentes différentes exprimées), et en troisième position vient la thématique de la communication avec les usagers (trois attentes différentes exprimées). Enfin, les thématiques du patrimoine culturel et des processus d'apprentissage n'ont été assimilés qu'à une seule attente chacun.

Sécurité	Confort des usagers	Apprentissage	Communication avec les usagers	Communication entre les acteurs	Patrimoine
Utilisabilité (4)	Rendre les usagers autonomes (12)	Diminution des risques (1)	Récolter des feedbacks innovants (2)	Utilisabilité (3)	Utilisabilité (1)
Gain de temps (3)	Contrôler le bâtiment (7)		Utilisabilité (1)	Rendre les usagers autonomes (2)	
Portatif (2)	Portatif (7)		Rendre les usagers autonomes (1)	Augmenter la satisfaction (2)	
Diminution des risques (1)	Utilisabilité (2)			Gain de temps (1)	
				Réduire les conflits (1)	
				Renouveler processus de communication (1)	

Tableau 30 - Répartition des attentes par thématique d'usage

Ces attentes touchent différentes phases du projet, mais on observe que ce sont les phases de conception et de construction qui sont la source de la plupart des attentes identifiées (Figure 85). De plus, certaines de ces attentes sont spécifiques à l'amélioration de la durabilité sociale des projets. Certaines sont concrètes et directement liées aux thématiques d'usages que nous avons utilisées pour construire notre guide d'entretien, comme la diminution des risques qui est en lien direct avec la thématique de la sécurité, ou récolter des feedbacks innovants et renouveler les processus de communication qui sont liés à la thématique de la communication, que ce soit avec les usagers ou entre les acteurs. Cependant d'autres attentes sont plus abstraites et sensibles. C'est le cas de l'augmentation de la satisfaction des collaborateurs, la réduction des conflits et rendre les usagers autonomes, attentes qui sont toutes les trois formulées dans la thématique de la communication. L'autonomie des usagers est cependant surtout abordée dans la thématique du confort des usagers et est une attente qui a été très souvent formulée par les répondants.

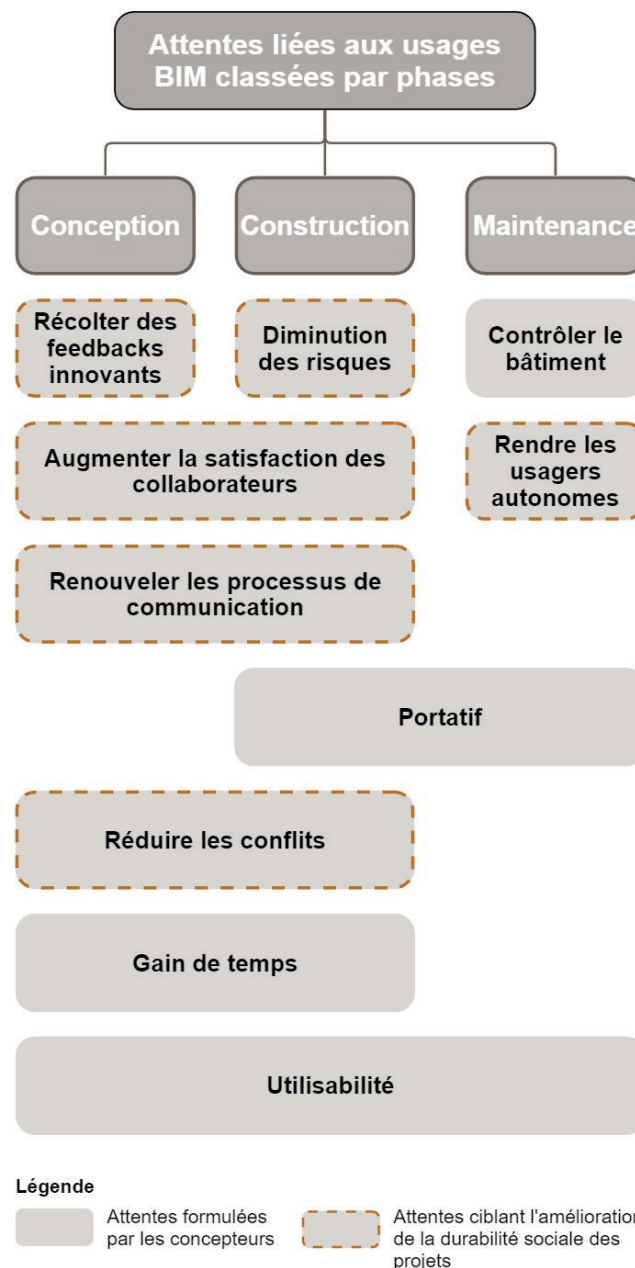


Figure 85 - Attentes liées aux usages BIM, classées par phases

## 7.4.2 Les freins identifiés par les concepteurs

Au cours des entretiens, les répondants ont identifié plusieurs freins à l'utilisation du BIM dans les démarches de construction socialement durables. Certains de ces freins concernent une seule thématique d'usages, d'autre freins sont communs à plusieurs thématiques (Tableau 31).

Codes	Nombre de segments codés	Nombre de documents contenant le code
Maturité numérique du secteur	31	20
Formation des acteurs	24	13
Investissement financier/rentabilité	17	11
Augmentation de la charge de travail	14	11
Accès à la technologie	12	11
Multiplicité des outils	9	7
Poids des données	7	6
Subjectivité de la sensation de confort	4	3
Maturité écologique du secteur	3	2
Acceptation sur chantier	3	1
Survente du BIM	2	2
Perte d'autonomie du concepteur	2	2
Impliquer le citoyen	2	2

Tableau 31 - Aperçu des concepts identifiés dans l'analyse des freins quant à l'emploi du BIM dans un contexte de construction socialement durable

Parmi ces freins, certains sont en lien avec plusieurs thématiques d'usages et d'autres sont spécifiques à une thématique en particulier. Deux freins sont singulièrement mis en évidence, il s'agit de la maturité numérique du secteur et de la formation des acteurs. Pratiquement tous les acteurs interrogés (10 sur 11) ont abordé la question de la maturité numérique du secteur de la construction. Ce concept soulève que les concepteurs peuvent être réfractaires aux changements de manière générale, et à l'adoption de nouvelles pratiques numériques en particulier, ce qui surprend certains répondants.

*« On entre dans une ère 2.0 et ça faisait longtemps qu'on aurait dû y entrer. Et on dit souvent que c'est les entrepreneurs qui sont réfractaires mais nous on voit de plus en plus que même dans le réemploi de matériau, ou **changer la manière de construire ou de concevoir, c'est souvent les archis qui sont plus compliqués à convaincre.** C'est assez bizarre. **Je pensais qu'ils seraient plus ouverts** et que les démolisseurs, les entrepreneurs seraient assez figés sur leurs positions » (R7, architecte)*

Il est souligné que les usages théoriques du BIM, étudiés dans un cadre de recherche, dénotent parfois avec la réalité des possibles sur terrain. Cela nuit à approfondir l'implication des bureaux dans les processus BIM, car ceux-ci se retrouvent parfois face à des collaborations dans lesquelles il est perçu comme étant plus fastidieux de former les collaborateurs que de les laisser résoudre le problème « à l'ancienne ».

*« Il y a encore un gap entre la recherche et le monde réel quoi. Parce que c'est vrai que voilà on parle de tout ça, on parle du BIM, on parle des aspects numériques du projet et donc on le fait, on le vit, mais en fait il faut bien se rendre compte qu'il y a... **tout le monde travaille pas du tout en BIM.** (...) Le BIM on essaie de le mettre en place mais je sais que sur certains projets on a parfois eu des difficultés à se dire "ah ouais ok en fait ce bureau-là il travaille pas avec le BIM" et **ça va mettre plus de temps à le former, à ce qu'il puisse collaborer sur le projet avec une plateforme BIM, que simplement lui envoyer des plans 2D et qu'ils se débrouille** » (R5, ingénieur)*

Un répondant identifie le moment où ce problème surgit pendant la phase d'exécution, en expliquant que la prise en main de la maquette numérique BIM est une charge pour les entrepreneurs, qui ne voient pas la plus-value qu'elle peut leur apporter. Dans ce contexte, des informations peuvent se perdre par manque de compréhension entre les acteurs des différentes phases.

*« On va dire qu'il y a vraiment encore **une fracture au moment de l'exécution.** (...) Après sur le terrain, on ne se rend compte aussi que **les entreprises, utiliser la maquette numérique c'est plus un poids, ça ne les aide pas vraiment dans leur travail au quotidien.** Donc ils ont tendance à ne pas l'utiliser et à **la produire à la fin parce que c'est un livrable exigé** » (R2, ingénieur)*

*« Je constate que **ça marche encore bien entre tous les acteurs d'une phase mais que passer d'une phase à l'autre reste parfois un challenge,** "ok là on a fait l'étude c'est gentil en passe en construction et oh on remodélise tout" ou "on ne comprend pas" ou machin, "tu passes en exploitation ah mais attends on te balance le truc on t'a fait un as-build tiens démerde-toi avec", "ah mais **je n'ai jamais ouvert un modèle BIM, hop pouvelle**" (R1, architecte)*

De plus, cette problématique ne concerne pas uniquement les concepteurs mais tous les acteurs du secteur, en particulier les maîtres d'œuvre. Cela représente une complication majeure dans le cadre des processus BIM qui ont précisément pour objectif de réunir plusieurs types d'acteurs appartenant à plusieurs phases du projet. Or pour plusieurs acteurs, se former au BIM est un processus en cours, débute, voire est perçu comme plus contraignant que d'utiliser les moyens auxquels ils sont habitués.

*« C'est là où le BIM implique tout le monde si vraiment on veut que ça fonctionne à 100% (...), aujourd'hui les archis stade TS ils sont relativement aboutis, les entrepreneurs ils commencent, les maîtres d'ouvrage et les utilisateurs, locataires, ce genre de choses, mêmes les maîtres d'ouvrage et les usagers professionnels j'ai envie de dire, même ceux-là ils ne sont nulle part, ils n'ont pas de ressource qui sont affiliées à ça et leurs implications qui pourraient être BIM ne le sont pas. Ça va plus vite de faire un Excel que de comprendre comment fonctionne un modèle BIM » (R1, architecte)*

La taille des entreprises impacte également les capacités d'implication dans l'apprentissage de nouveaux processus de conception qui utiliseraient le BIM.

*« On n'est pas submergé par les maîtres d'œuvre qui arrivent et qui disent "on est super bon en maquette numérique on va vous faire ça". Et les entreprises, à part les majors qui investissent dans ces technologies car ils y voient bien là aussi leur intérêt en termes de processus, de méthode de construction. Les plus petites entreprises sont moins bien outillées sur ces projets » (R3, ingénieur)*

La maturité numérique du secteur de la construction est plusieurs fois mise en lien avec la formation des acteurs. Les répondants notent un décalage entre la formation initiale des concepteurs qui pratiquent déjà depuis plusieurs années et les besoins actuels du secteur. Cela suggère une responsabilité des jeunes concepteurs d'amener de nouvelles compétences dans le milieu de la construction.

*« Je dirais que la première année on faisait tout à la main, juste pour voir comment c'était à la main et après on est passés sur Autocad mais Autocad c'est déjà un peu dépassé et tout ce qui était BIM je crois qu'on a eu 20h de Revit mais on n'a pas été..., c'était vraiment plus tout ce qui était numérique Autocad mais bon ce n'est quand même pas super... Ça aurait été bien que ce soit plus sur Revit ou au moins avec des trucs actuels (...). Je pense aussi que les gens qui ont appris des choses il y a trente ans forcément ils ne vont pas complètement tout remettre en question et donc je pense que c'est la nouvelle génération qui va petit à petit pousser les vieilles pratiques. » (R4, architecte)*

La maturité numérique du secteur de la construction et la formation des acteurs sont des sujets qui sont abordés par les répondants dans toutes les thématiques d'usage que nous leur avons proposées, à l'exception de celle du patrimoine culturel. Les thématiques qui semblent être les plus concernées sont celles de la sécurité et de la communication entre les acteurs du projet (Figure 86).

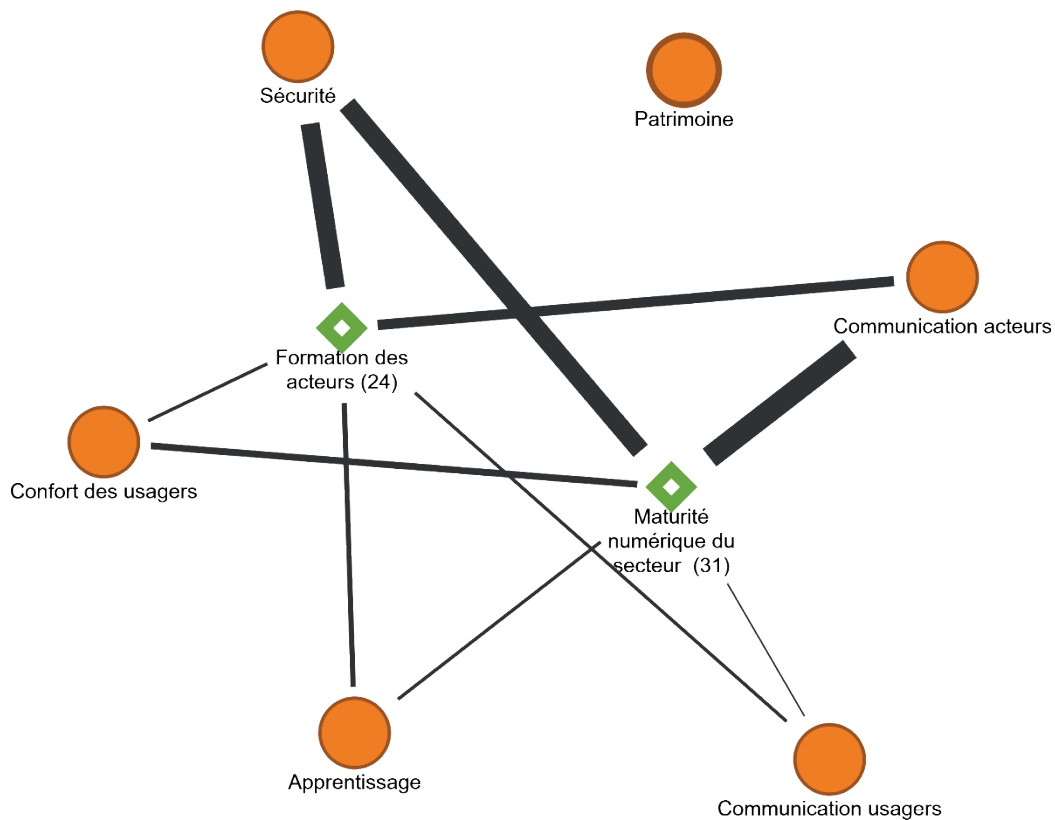


Figure 86 - Carte conceptuelle en réseau des frein identifiés par les concepteurs interrogés – Maturité numérique du secteur de la construction et formation des acteurs

D'autres freins sont identifiés par les répondants, en particulier liés aux contraintes qui peuvent apparaître pendant la phase de transition dans le processus d'adoption du BIM. L'aspect économique est l'un d'entre eux, il se manifeste à travers l'investissement financier nécessaire pour emboîter le pas aux processus BIM lorsqu'on démarre à partir d'une démarche traditionnelle, et à travers la rentabilité attendue à la suite d'un tel investissement. Ce dernier est lié à l'achat des licences logiciels, du matériel et des infrastructures de manière générale, mais aussi à la formation des travailleurs. L'augmentation de la charge de travail est une autre conséquence que les concepteurs perçoivent comme un frein dans la volonté des acteurs du secteur d'adopter le BIM, et qui freine par conséquent le recours au BIM en tant qu'outil de durabilité sociale.

*« Il y a une évolution des pratiques, une évolution des métiers. Il y en a qui sont favorables aux nouvelles technologies, d'autres qui sont plus, qui ont peur de cette remise en question de leur métier. C'est vu souvent aussi comme une charge de travail complémentaire et ils sont déjà débordés. Ça nécessite aussi un investissement, des formations. (...) aussi parce que derrière il faut mettre en place des serveurs, il faut acheter, il faut investir dans des bases de données, dans des data lake, dans des plateformes collaboratives, donc il y a beaucoup de freins effectivement, des freins technologiques et des freins humains donc tout est à prendre en compte dans cette évolution vers le numérique » (R2, ingénieur)*

Les concepteurs associent aussi cette augmentation de la charge de travail à une perte de temps due à un manque d'uniformité dans l'encodage des données, qui peut engendrer une remodelisation par chaque acteur selon les données dont il a besoin. Ces problèmes de communication peuvent alors devenir source d'erreur.

« Le problème majeur qu'on rencontre c'est que l'architecte modélise son modèle et puis en fait quand il doit le transmettre à l'entrepreneur pour faire ses quantités ben lui il n'utilise pas le même type de données donc en fait il remodélise complètement tout le modèle suivant ses conventions à lui et en fait on perd un temps énorme et ce n'est pas du tout efficace et donc ici le but du projet c'est d'avoir vraiment des conventions sur la modélisation et je dirais de **tous parler le même langage** donc c'est vraiment un travail qu'on fait avec les bureaux d'études, les entrepreneurs pour voir comment les architectes modélisent, quelles infos ont besoin les entrepreneurs pour perdre un minimum de temps parce que le problème c'est qu'il y a aussi des infos du coup qui sont erronées, on perd des infos, il y a des infos qui sont mal interprétées et donc c'est source d'erreurs d'office » (R4, architecte)

L'aspect économique a été mis en lien par les répondants avec les thématiques de la sécurité, du confort des usagers, des processus d'apprentissage et de la communication entre les acteurs du projet, tandis que l'augmentation de la charge de travail, en plus d'être mise en lien avec ces mêmes thématiques, est également reliée à la communication avec les usagers (Figure 87).

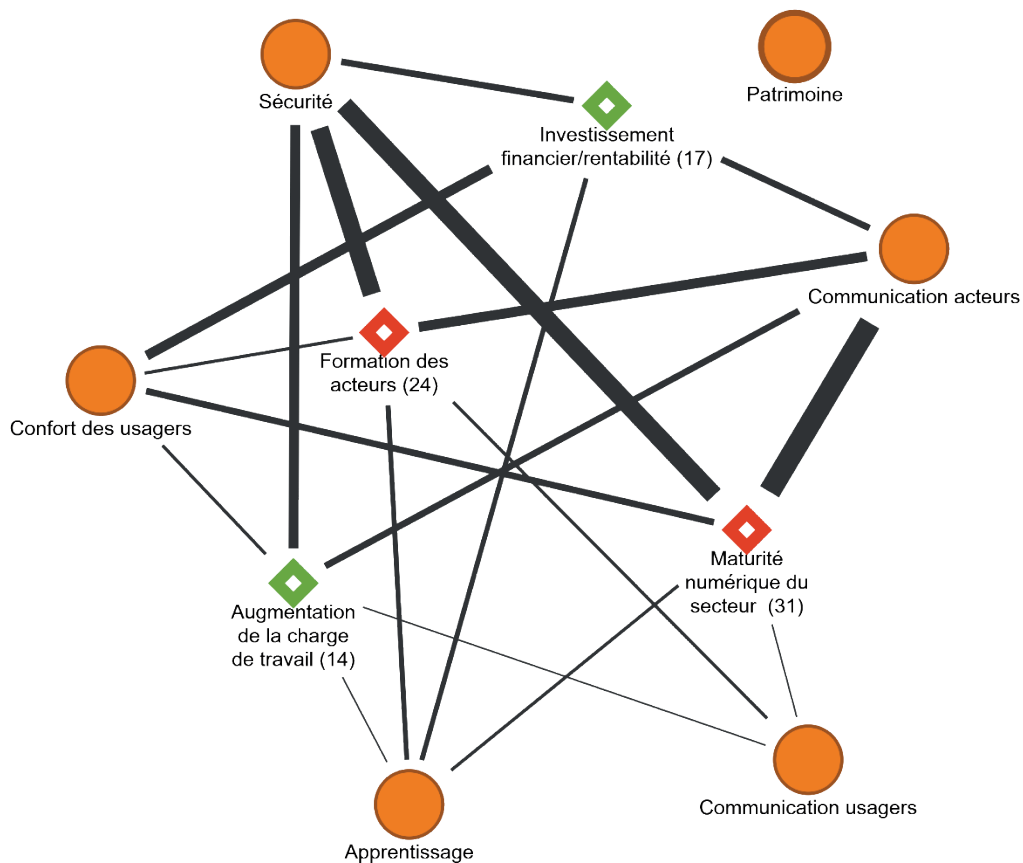


Figure 87 - Carte conceptuelle du réseau de freins identifiés par les concepteurs quant à l'emploi du BIM dans un contexte de projet socialement durable – Investissement financier et augmentation de la charge de travail

On observe que parmi les freins les plus abordés par les concepteurs, que nous venons de développer, la formation des acteurs, l'investissement financier, la maturité numérique du secteur de la construction et l'augmentation de la charge de travail sont les freins qui touchent à pratiquement toutes les thématiques, à l'exception de la thématique du patrimoine culturel.



L'accès à la technologie est un frein moins souvent cité (abordé huit fois, présent dans sept documents), mais présente lui aussi des liens avec un grand nombre de thématiques. Ce frein correspond à la fois à l'accès au matériel aux logiciels et technologies BIM mais également à l'accès à la connaissance et à la maîtrise de ces technologies. L'accès au matériel est souvent en lien avec l'investissement financier. En parlant des technologies d'immersion virtuelle, un répondant dit ceci :

*« Je l'ai fait une fois parce que j'ai eu l'occasion d'aller chez un professionnel qui en avait un. Après il faut que tout le monde s'équipe, c'est un peu un investissement pour ça. » (R8, architecte)*

De plus, l'accessibilité à la technologie concerne autant les acteurs de la construction que les usagers des projets, ou toute personne qui aurait besoin d'informations liées au bâtiment, sans pour autant être formée aux codes employés par les concepteurs.

*« Les pompiers sont un des intervenants qui pourraient consulter ce genre de choses. (...) **Maintenant est ce qu'ils vont utiliser la maquette numérique, est qu'ils ont le bon programme, est ce qu'ils sont formés pour ça ?** » (R7, architecte)*

Un répondant évoque le fait que la 3D, bien qu'elle soit souvent perçue comme étant un outil facilitant la compréhension des projets, peut être difficile à appréhender par des acteurs qui ne sont pas familiers à ces vues virtuelles. Cela implique qu'une vue en 2D peut dans certains cas être plus parlante pour un usager.

*« Je pense que ça va vraiment dépendre des utilisateurs. **Il y en a qui ont du mal à se représenter les choses en 3D, il y en a pour qui c'est évident.** Après, des fois des vues juste 2D, top View, c'est plus intéressant. Les deux peuvent être intéressantes. Mais **bien souvent, une vue 2D peut être suffisante. La 3D n'est pas forcément simple à appréhender au final.** Ce qu'on voit derrière le BIM, c'est que c'est plus une gestion de la donnée que juste une visualisation, c'est bien plus que ça en fait, c'est un plus que d'avoir de la 3D. » (R2, ingénieur)*

L'accessibilité à la technologie a été mise en lien par les répondants aux thématiques de la sécurité, du confort des usagers, de la communication entre les acteurs du projet et des processus d'apprentissage (Figure 88).

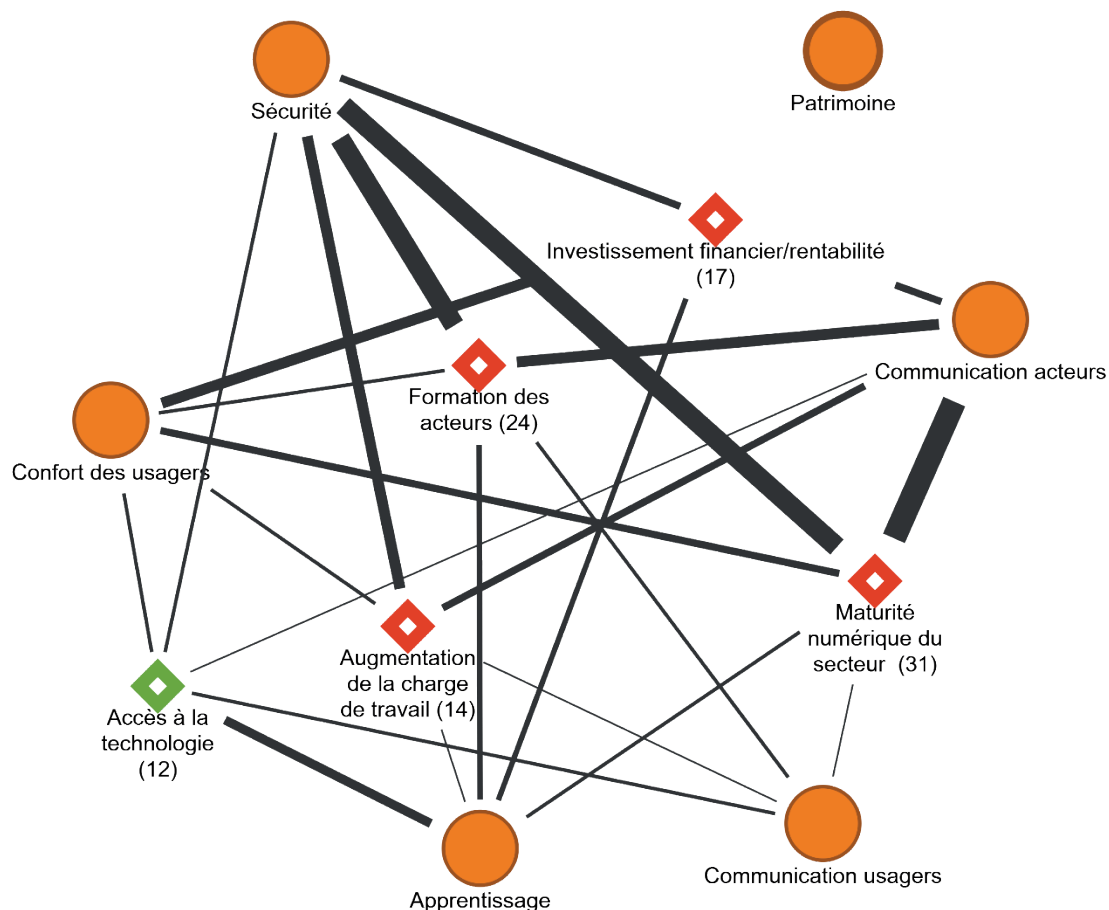


Figure 88 - Carte conceptuelle du réseau de freins identifiés par les concepteurs quant à l'emploi du BIM dans un contexte de projet socialement durable – Accès à la technologie

Quelques répondants mentionnent en tant que frein le poids des données, en faisant référence au concept de lourdeur liée d'une part aux capacités de stockage nécessaires pour entreposer et partager les fichiers du projet, et d'autre part aux difficultés de manipulation, modification et déplacement au sein du fichier lui-même. Dès lors, le concept de limite apparaît : à partir de quand faut-il arrêter de renseigner les données, de sorte que le projet reste manipulable, stockable, échangeable tout en contenant des informations utiles à un maximum de personnes ?

*« Mais ce serait trop lourd au bout d'un moment, si on avait tout, tout le temps, tout au même endroit je pense. Surtout à cette échelle-là, parce qu'un bâtiment en BIM c'est quand même ... suivant l'information qu'il y a dedans c'est très lourd, c'est très compliqué à manipuler derrière donc en fait c'est normal, je pense, que l'info arrive, se perde, soit rajoutée, se reperde d'une autre façon selon les utilisations. Je pense que c'est ça aussi qui fait que ça vit, et ça vit dans le sens où les utilisateurs en ont besoin. »*  
(R8, architecte)

*« On doit toujours charger les plans, charger les trucs dedans... On peut à moitié charger des maquettes 3D (...). Où est la limite cohérente entre le mec qui se balade avec sa caméra sur son casque, est-ce qu'il voit que la réalité correspond au projet BIM, et puis en même temps il peut mettre un pin pour que ça se mette dans son rapport de chantier, que le tuyau n'est pas bien connecté, sans savoir qu'en fait le mec, le sanitaire,*

*il a fait ça sur chantier parce que c'était plus facile et qu'il y a même pas besoin de faire une remarque. Tu vois faut pas créer une usine à gaz non plus » (R7, architecte)*

La question de la collecte des données est également abordée par un répondant, qui s'interroge sur la manière de faire face à une quantité d'informations sans limite. Aussi, cette quantité d'informations pourrait ne jamais être consultée si elle n'est utile à personne. Cela implique qu'il vaut mieux prioriser des données dont on a besoin de manière certaine, avant de chercher à collecter un maximum de données « au cas où » un besoin apparaîtrait plus tard. Sans quoi, le poids de ces données pourrait être contreproductif et être un obstacle à la bonne maniabilité des outils.

*« Avoir ces infos-là je trouve ça intéressant, après comment savoir où les gens passent, comment ils utilisent l'espace, comment ils poussent les portes, comment ils éclairent, comment ils ferment leurs rideaux ou leurs stores. Comment ils ventilent. C'est beaucoup beaucoup d'infos. Je sais pas comment les collecter (...). Je trouve ça super cool et ce serait l'idéal pour un peu donner des vraies datas, après c'est comment on les interprète, comment on les généralise. Même si on vient avec toutes ces datas qui ont demandé une énergie dingue, qui va les entendre, ou vouloir les entendre ? C'est toujours un peu ça que je trouve compliqué » (R7, architecte)*

Le poids des données est le seul frein identifié par les répondants dans la thématique du patrimoine culturel. Ce frein est également mis en lien avec le confort des usagers et avec la communication entre les acteurs du projet (Figure 89).

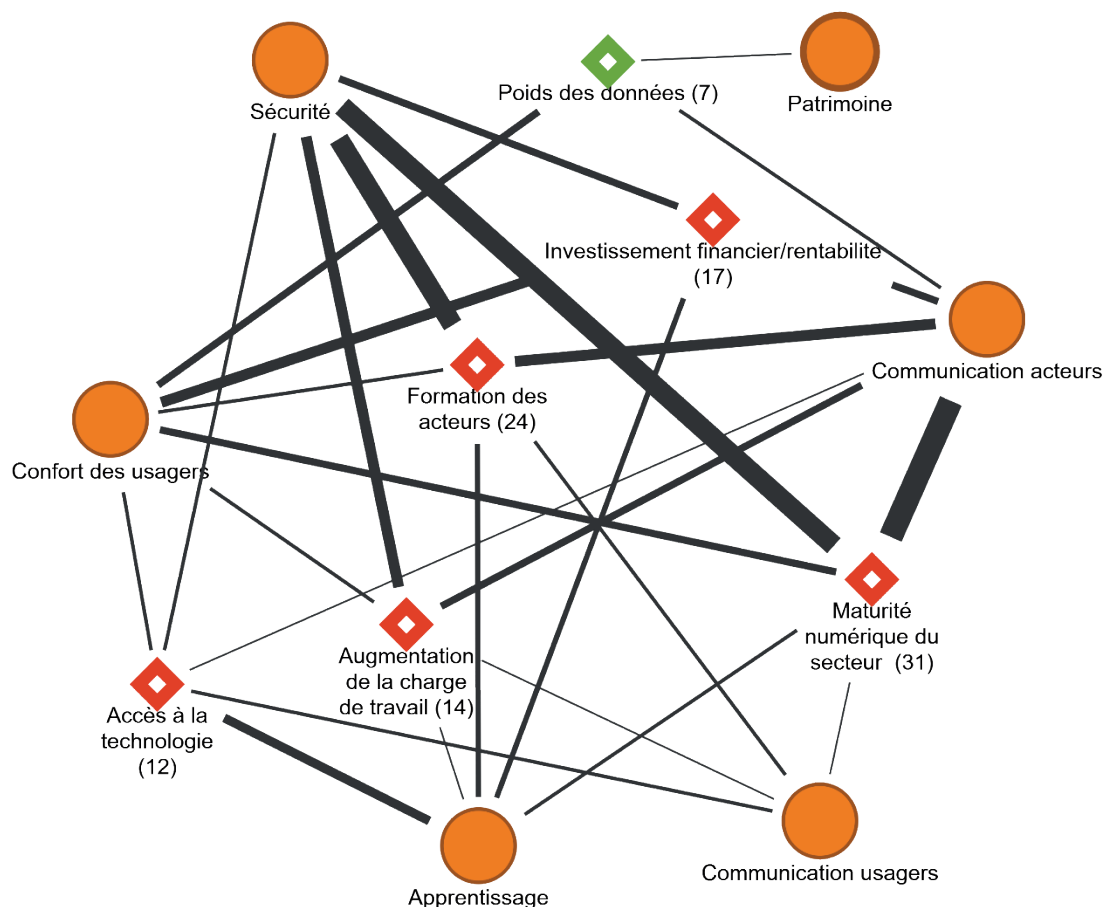


Figure 89 - Carte conceptuelle du réseau de freins identifiés par les concepteurs quant à l'emploi du BIM dans un contexte de projet socialement durable – Poids des données

Un autre frein abordé par les répondants est celui de la multiplicité des outils, qui aborde les problèmes d'interopérabilité entre logiciel d'une part, et d'autre part la boîte à outils du concepteur qui devient de plus en plus variée. La collaboration est perçue comme plus facile lorsqu'il y a une uniformisation des outils. Pourtant, chaque concepteur étant libre de choisir l'outil qui lui est le plus agréable et utile, plusieurs méthodes de conception co-existent dans le secteur de la construction. Certaines sont tournées vers des approches BIM complètes alors que d'autres utilisent des méthodes plus traditionnelles axées sur une gestion désynchronisée du dessin de plan et de la représentation en trois dimensions du projet, qui est alors exclusivement vouée à être un outil de communication sur des éléments visuels tels que des volumes ou les matières.

*« Aujourd'hui, on n'y est pas parce que **chacun utilise encore son propre format avec ses propres outils**. Il n'y a pas suffisamment encore peut-être d'uniformisation des formats, des outils aujourd'hui. Et puis il y a une **scission entre les outils de modélisation et les outils de visualisation, ce ne sont pas les mêmes formats au niveau de la conception**, il y a des outils comme Revit, comme Archicad, comme Allplan, qui sont des outils propriétaires et les entreprises ce sont elles qui choisissent l'outil de modélisation avec lequel elles sont familières. » (R2, ingénieur)*

De plus, si le processus BIM permet de centraliser un grand nombre d'informations au même endroit, le logiciel BIM associé à ce processus n'est pas toujours l'outil perçu comme étant le plus efficace quand il s'agit de manipuler des informations très spécifiques. Ainsi, les concepteurs peuvent lui préférer un logiciel spécifiquement orienté vers la Performance Energétique des Bâtiments, vers les analyses acoustiques ou encore vers les analyses de luminosité.

*« Nous on est confrontés au problème aujourd'hui que tout se fait dans des outils **séparés**. Donc on va avoir le BIM pour la conception, mais on va avoir après un outil Performance Energétique des Bâtiments dans lequel on va faire nos calculs Performance Energétique des Bâtiments, on va avoir des outils de simulation dans lequel on va faire quelques simulations dynamiques pour voir le confort thermique, surtout en froid. On va avoir des outils pour évaluer l'éclairage, on va avoir des outils pour faire des analyses de cycle de vie. Et même on va encore avoir des outils pour évaluer la circularité d'un projet. **C'est tous des outils séparés dans lesquels on doit introduire plein de données. Et souvent un peu les mêmes données en fait**. Donc dans ce sens-là évidemment le BIM ... enfin le BIM ou plus généralement **d'avoir un outil intégré qui permet de faire tout ça ce serait un peu l'idéal**. (...) Mais **c'est évidemment dommage qu'on introduise toutes des données dans un logiciel Performance Energétique des Bâtiments pour calculer la performance énergétique, dans lequel on va introduire toutes les parois et puis après on va introduire les mêmes données dans un outil d'analyse de cycle de vie pour faire des simulations sur les différents types de parois pour évaluer quel serait le meilleur matériau d'un point de vue environnemental. C'est un peu dommage**. » (R5, ingénieur)*

La problématique principale liée à ces outils multiples est donc la perte de temps qu'engendre le ré-encodage des informations. Le BIM, qui d'un point de vue théorique est sensé jouer le rôle de centralisation de toutes ces fonctions, n'est pas perçu comme suffisamment efficace pour l'instant par les répondants. Dans le témoignage ci-dessus, le répondant le qualifie « d'idéal ». La multiplicité des outils est mise en lien principalement avec la thématique de la communication entre les acteurs, mais également avec les processus d'apprentissage (Figure 90).

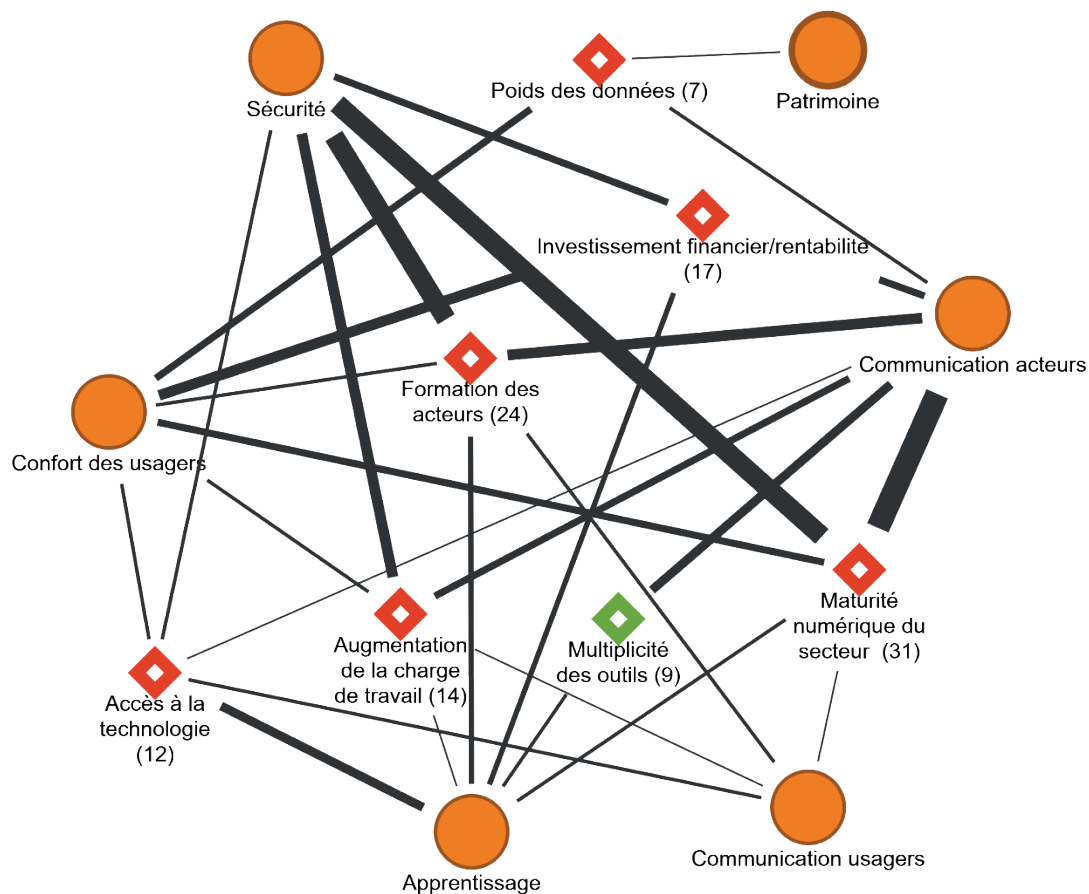


Figure 90 - Carte conceptuelle du réseau de freins identifiés par les concepteurs quant à l'emploi du BIM dans un contexte de projet socialement durable – Multiplicité des outils

Les freins qui ont été développés ci-dessus sont tous des freins qui ont été associés à plusieurs thématiques, ils semblent donc profondément ancrés dans les pratiques des concepteurs. Cependant, d'autres freins ont été évoqués, mais n'ont été reliés qu'à une seule thématique. Il s'agit de l'acceptation sur chantier, de la maturité écologique du secteur, de la subjectivité de la sensation de confort, de la perte d'autonomie du concepteur et de la survente du BIM. Dans la thématique de la sécurité, les répondants ont évoqué l'acceptation sur chantier de la mise en place de systèmes de surveillance des ouvriers. Plusieurs répondants s'inquiètent que, bien que le système serait implanté pour améliorer la sécurité sur le chantier, les ouvriers ne puissent percevoir cela comme de la surveillance.

*« Il y a un des trucs qui m'a un peu fait tiquer c'est, utilisation de capteurs sur le casque des ouvriers. En fait j'aurais trop peur que d'un point de vue social, les patrons des entreprises puissent utiliser ces infos pour dire "Lui il a trop glandé aujourd'hui", du coup d'un point de vue social c'est peut-être un des points qui me dérangerait » (R4, architecte)*

*« Ça dépend de l'appli mais je t'avoue que les réticences sur ce sujet... Elles sont souvent sur le "on va savoir ce que je fais, où je suis" » (R1, architecte)*

La maturité écologique, abordée dans la thématique de la communication entre les acteurs du projet, est quant à elle considérée comme n'étant pas encore pleinement adoptée par certains acteurs. Un répondant se questionne donc sur la possibilité pour ces acteurs d'ajouter une composante sociale dans l'équation. Le répondant ne vise pas les concepteurs dans cette affirmation, mais il ne précise pas à quels acteurs il fait référence.

*« Quand on voit déjà les questions des gens par rapport à la Performance Energétique des Bâtiments déjà. A la différence entre un certificat PEB et la réglementation PEB travaux... Alors que c'est une réglementation quand même qui date de 2006... C'est dur... Enfin il faut que ça percole quoi. » (R5, ingénieur)*

Également dans la thématique de la communication entre les acteurs, un répondant mentionne que le BIM a été survendu, présenté par les éditeurs comme un outil parfait, ce qui peut décevoir les attentes des concepteurs.

*« Peut-être qu'on a trop vendu le BIM comme l'outil magique qui allaient révolutionner les pratiques. Aujourd'hui, si les processus ne sont pas déjà en place indépendamment du BIM, il ne faut pas imaginer que la maquette va régler les problèmes, ça c'est faux, ça va en créer de nouveaux, mais il faut déjà qu'il y ait des processus en place et la maquette peut être un atout complémentaire par après, elle va remettre en question beaucoup de choses au niveau aussi de la structuration des données et des codifications » (R2, ingénieur)*

L'implication des citoyens est proposée comme étant un frein possible dans la thématique de la communication avec les usagers. Un répondant se questionne sur la manière de procéder pour obtenir une implication de la part des citoyens dans les démarches participatives. Dans la thématique du confort des usagers, un répondant mentionne que ce confort est subjectif et peut donc être difficile à évaluer à l'aide d'outils numériques.

*« Je trouve que la question de l'inconfort (...), la gérer avec l'informatique je trouve ça compliqué par ce qu'elle est hyper subjective. Il y a des gens qui vont être beaucoup sensibles, ou qui vont demander tel ou tel type de confort. Donc c'est difficile de la gérer au-delà d'un espace qui serait ou non occupé. On peut pas dire "Ok parce qu'il fait telle température c'est confortable ou c'est pas confortable". Et puis ça peut être lié aussi à des situations passagères. Ici il y a plein de bruits parce qu'on est en train de rénover le 4ème, ça peut créer de l'inconfort. » (R5, ingénieur)*

Et pour finir, deux répondants expriment une inquiétude et un malaise face à ce qu'ils perçoivent comme une perte d'autonomie à l'idée d'être assisté par un outil numérique pour gérer la part de subjectivité liée au confort et au bien-être des usagers. L'un des répondants évoque une artificialisation de l'action de conception, qui remet en question les compétences de l'architecte.

*« Je pense que ça pourrait être bien mais moi ça me met un peu mal à l'aise, j'ai l'impression que c'est fort, je ne vais pas dire artificiel, mais si on est un bon architecte on sait bien agencer les espaces normalement du coup c'est un peu too much je dirais. Même si je pense que dans la théorie c'est hyper cool mais je pense que dans la pratique si on doit commencer à coder un logiciel pour qu'on nous dise que tel truc ça va provoquer de l'inconfort, je me dis que c'est très numérisé ça devient très artificiel quoi. » (R4, architecte)*

Ces freins ont été moins souvent cités que les précédents, et assimilés à des thématiques moins variées (Figure 91). Cependant la plupart d'entre eux reflètent des questionnements plus sensibles et personnels sur les implications de l'emploi du numérique dans l'assistance à la conception, tels que l'acceptation sur chantier, la subjectivité de la sensation de confort, la perte d'autonomie des concepteurs ou l'implication des citoyens.

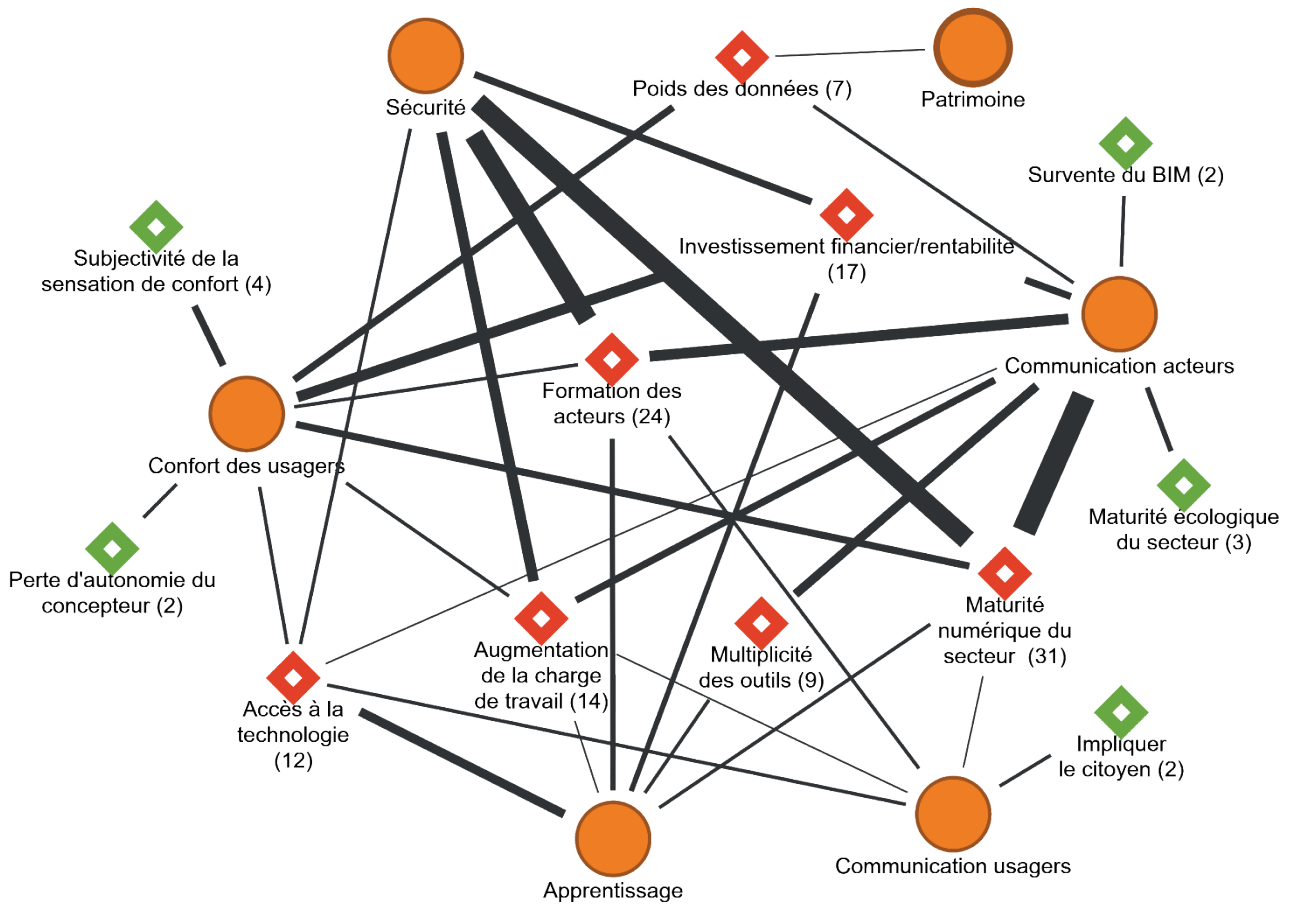


Figure 91 - Carte conceptuelle du réseau de freins identifiés par les concepteurs quant à l'emploi du BIM dans un contexte de projet socialement durable

En conclusion, les répondants se sont exprimés à propos de douze freins pouvant entraver le développement d'usages BIM liés à la durabilité sociale des projets. Deux d'entre eux se démarquent par le nombre de fois où ils ont été abordés par les répondants, il s'agit de la maturité numérique du secteur de la construction (mentionné dans 26 segments analysés) et de la formation des acteurs (mentionné dans 24 segments analysés). Ces deux concepts ont été mis en lien par les répondants avec toutes les thématiques, à l'exception de celle du patrimoine. Plusieurs autres freins ont été abordés dans ces mêmes thématiques : l'investissement financier et la rentabilité des projets (mentionné dans 18 segments analysés), l'augmentation de la charge de travail (mentionnée dans 14 segments analysés) et l'accès à la technologie (mentionné dans 9 segments analysés). Le poids des données (mentionné dans 6 segments analysés) est mis en lien avec la communication entre les acteurs, le confort des usagers et le patrimoine. La multiplicité des outils (mentionné dans 8 segments analysés) est mise en lien avec la thématique des processus d'apprentissage et celle de la communication entre les acteurs.

Les autres freins identifiés par les répondants sont mis en lien par ces derniers avec une seule des thématiques. Pour la thématique de la sécurité il s'agit de l'acceptation sur chantier (mentionné dans 3 segments analysés), pour la thématique du confort des usagers il s'agit de la subjectivité de la sensation de confort (mentionné dans 3 segments analysés) et de la perte de l'autonomie du concepteur (mentionné dans 2 segments analysés), pour la thématique de la communication avec les usagers il s'agit de l'implication du citoyen (mentionné dans 2 segments analysés), pour la thématique de la communication entre les acteurs il s'agit de la maturité écologique du secteur (mentionné dans 3 segments analysés) et de la survente du BIM (mentionné dans 2 segments analysés).

Dans le tableau ci-dessous (Tableau 32), on peut observer que la thématique à laquelle est attribuée le plus de freins est celle de la communication avec les acteurs qui comptabilise neuf freins, et celle du confort des usagers avec un total de huit freins différents affectés à la thématique. Vient ensuite la thématique de l'apprentissage qui comptabilise six freins différents, puis celle de la sécurité et celle de la communication avec les usagers qui sont chacune reliées à cinq freins différents. Pour finir, un seul frein est attribué à la thématique du patrimoine.



Sécurité	Confort des usagers	Apprentissage	Communication avec les usagers	Communication entre les acteurs	Patrimoine
Formation des acteurs (11)	Investissement financier (6)	Accès à la technologie (5)	Accès à la technologie (2)	Maturité numérique du secteur (13)	Poids des données (1)
Maturité numérique du secteur (11)	Maturité numérique du secteur (4)	Formation des acteurs (3)	Formation des acteurs (2)	Formation des acteurs (6)	
Augmentation de la charge de travail (6)	Poids des données (4)	Investissement financier (3)	Impliquer le citoyen (2)	Multiplicité des outils (5)	
Investissement financier (4)	Subjectivité de la sensation de confort (4)	Maturité numérique du secteur (2)	Maturité numérique du secteur (1)	Investissement financier (4)	
Accès à la technologie (2)	Formation des acteurs (2)	Multiplicité des outils (2)	Augmentation de la charge de travail (1)	Augmentation de la charge de travail (4)	
	Augmentation de la charge de travail (2)	Augmentation de la charge de travail (1)		Maturité écologique du secteur (3)	
	Perte d'autonomie du concepteur (2)			Survente du BIM (2)	
	Accès à la technologie (2)			Poids des données (2)	
				Accès à la technologie (1)	

Tableau 32 - Répartition des freins par thématique d'usage

On observe que ces freins peuvent être regroupés par thématiques (Figure 92). Certains d'entre eux concernent l'adoption du BIM de manière générale, et donc par extension l'adoption du BIM dans un contexte de durabilité sociale. Ces freins ne sont donc pas exclusifs aux usages de durabilité sociale proposés aux répondants. Il s'agit du poids des données, de la survente du BIM, de la multiplicité des outils, de la maturité numérique du secteur, et de l'augmentation de la charge de travail. De plus, on observe que ces freins sont reliés à au moins quatre thématiques sur six, ce qui en fait des freins très ancrés de manière générale.

Cependant, certains freins sont spécifiquement en lien avec le caractère social des sujets abordés. Le plus souvent, ces freins sont ceux qui n'ont été rattachés qu'à une thématique, comme l'implication des citoyens, la subjectivité de la sensation de confort, et le sentiment de perte d'autonomie du concepteur. Deux freins sont à la fois liés à l'adoption du BIM et concernent le pilier social, il s'agit de la formation des acteurs et de l'accès à la technologie. Un frein concerne le pilier économique, celui de l'investissement financier et rentabilité, et un frein concerne le pilier écologique, celui de la maturité écologique du secteur.

L'adoption du BIM au sein des agences et bureaux d'architecture semble donc être le frein principal identifié par les répondants. Il pourrait être intéressant de reconduire cette enquête dans quelques années, lorsque le niveau d'implémentation du BIM aura progressé, ou même dans un futur plus proche mais auprès de concepteurs issus d'une autre communauté géographique, dans laquelle les processus BIM seraient implantés de manière plus poussée que dans les communautés d'acteurs français et belges.

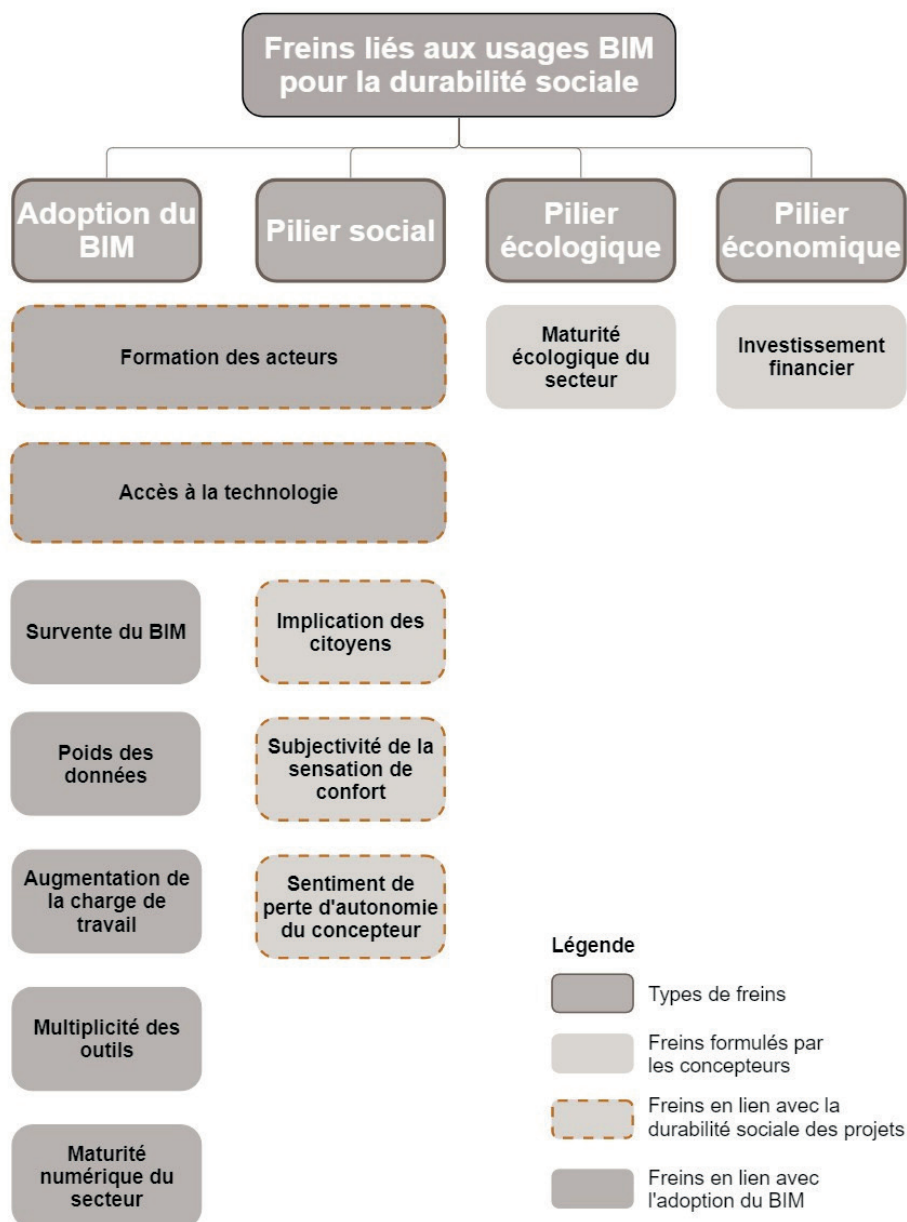


Figure 92 - Répartition des freins liés aux usages BIM pour la durabilité sociale

### 7.4.3 Les conditions perçues par les concepteurs

En parallèle des freins que nous venons de développer, les répondants ont identifié des conditions nécessaires à la mise en œuvre d'une démarche socialement durable à partir de processus BIM. Tout comme dans la section précédente, il est probable que certaines conditions fassent référence à l'adoption du BIM de manière générale, et non spécifiquement à la durabilité sociale des projets.

Certaines conditions énoncées sont spécifiques à une seule thématique, telles que la sécurité des données, l'investissement dans le développement, l'interopérabilité, la volonté du maître d'ouvrage, l'uniformisation des données, le travail collectif en BIM et le cahier des charges BIM. D'autres conditions sont à mettre en lien avec plusieurs thématiques. Ces dernières correspondent à l'échelle des projets, la maintenance de la maquette, la présence du modèle, l'anticipation des usages, les moyens financiers et humains et la confiance en la donnée (Tableau 33).

Codes	Nombre de segments codés	Nombre de documents contenant le code
Echelle des projets	26	16
Moyens matériels, financiers et humains	17	13
Prévoir les usages (paramètres, procédures)	15	11
Maintenance de la maquette	14	10
Avoir confiance en la donnée	11	7
Interopérabilité	8	7
Présence du modèle	5	4
Travailler en BIM collectivement	3	3
Uniformiser les données	3	2
Volonté du maitre d'ouvrage	1	1

Tableau 33 - Aperçu des concepts identifiés dans l'analyse des conditions identifiées par les concepteurs quant à l'emploi du BIM dans un contexte de construction socialement durable

Dans le tableau ci-dessus, on observe que la condition qui est la plus récurrente dans les réponses obtenues est celle de l'échelle des projets. L'échelle des projets fait référence à la fois aux différents types de bâtiments et leur échelle d'occupation respective (maison unifamiliale, immeuble de bureau, ...) mais aussi au changement d'échelle qui s'opère entre le bâtiment, le quartier et la ville. Les répondants semblent estimer que plusieurs usages proposés ne sont utiles qu'à condition d'être mis en place dans des projets de grande envergure.

*« Oui je sais qu'on utilise ça pour des grands bâtiments mais pas chez nous » (R9, architecte)*

*« Enfin nous sur nos types de chantiers, ce ne sont quand même pas des chantiers kilométriques. Enfin il y en a mais .... À l'échelle d'un bâtiment honnêtement je préférerais avoir un capteur qui me dit que le casque est sur la tête plutôt qu'un capteur qui localise le casque » (R10, architecte)*

Lorsque les répondants font référence à l'échelle des bâtiments, ils mentionnent tout d'abord que les équipes de conception et de gestion des bâtiments de plus grande ampleur sont plus susceptibles de posséder les compétences requises à la mise en place de pratiques BIM, et surtout à leur maintien au cours de la phase d'exploitation du bâtiment. Ce qui n'est pas forcément le cas

dans un contexte de bâtiment de plus petite ampleur, comme une maison familiale. La référence à la présence des compétences ne concerne pas que les équipes professionnelles, elle est également étendue aux particuliers occupant le bâtiment.

*« Évidemment quand tu as une maison familiale ça n'a pas de sens et quand tu as plusieurs locataires dans un immeuble à un moment si chacun aménage son étage à sa manière, il faut qu'ils aient la main aussi. (...) En fait je pense qu'il y a du sens pour des organismes comme nous, à l'échelle où on est encore avec des professionnels qui vont avoir leur travail facilité. Mais jusqu'à aller à avoir l'utilisateur se balader dans le bâtiment et machin, ça se manifestera sûrement sous une forme qu'on n'imagine pas aujourd'hui » (R1, architecte)*

*« Bon le locataire qu'est-ce qu'il va faire ? Il va régulièrement ouvrir la maquette et se balader et il va se dire " ah tiens je dois faire ceci, je dois faire cela" ? De nouveau je pense que ça n'a du sens que sur les grands sites. Si j'ai ma maison je peux trouver ça fun d'avoir ma maison en 3D mais est-ce que c'est dans ma maquette que je vais aller trouver l'information qu'il est temps que je rajoute du sel dans l'adoucesseur ? » (R11, architecte)*

Les répondants évoquent également que le nombre de personnes impliquées dans un projet justifie la rentabilité de la mise en place d'un processus BIM, qui pourra selon eux être utilisé à son meilleur potentiel lorsqu'un plus grand nombre de personnes sont impliquées dans le projet.

*« Je pense que c'est aussi possible, actuellement dans des gros projets où ils ont une ou deux personnes à temps plein sur la gestion de ce genre de truc mais clairement moi les chantiers sur lesquels j'étais ou les projets sur lesquels j'étais c'était des trucs relativement petits. (...) même une entreprise de 10 personnes le patron ne va pas commencer à apprendre le BIM ce n'est pas son job donc je pense que ça a des avantages pour des gros projets qui ont des enjeux par exemple au niveau "estimation du coût des équipements de sécurité" où là ça peut vraiment avoir un impact mais sur des petits projets je pense que ça ne va pas être rentable. » (R4, architecte)*

La question des moyens financiers nécessaires pour mettre en place les méthodes BIM, qui dépendent en partie de l'échelle du projet, est aussi soulevée par les répondants.

*« Il faut une certaine échelle de projet. Donc si le BIM, en évoluant, pouvait se démocratiser il pourrait être... Toutes ces choses qui se font dans les grands projets complexes où on a les moyens et bien pourraient se faire dans les projets à plus petite échelle. C'est ça qui serait intéressant. Je pense que si on exploite une centrale nucléaire, tout ça on le fait depuis longtemps. Et on est plus avec des grands tableaux et des petits leds qui s'allument partout. Non, ils le font avec des maquettes virtuelles » (R11, architecte)*

Enfin, les répondants évoquent la possibilité de travailler à l'échelle du quartier ou de la ville, et pas uniquement à l'échelle du bâtiment.

*« On travaille beaucoup à l'échelle du bâtiment mais aussi à l'échelle d'un quartier, des nuisances sonores au niveau des routes et de l'éclairage aussi. Donc ça ce n'est pas mal à l'échelle d'un quartier justement entre deux bâtiments qui peuvent se tenir*

*l'un par rapport à l'autre ou par rapport à l'éclairage du soleil, ... Donc voilà, ces autres directions nous apportent vraiment ces outils et ces algorithmes de simulation. Et nous, on couple ça avec la maquette numérique, donc à la fois en amont mais après derrière aussi en termes d'affichage, de visualisation de restitution, d'indicateurs, ... » (R2, ingénieur)*

L'échelle des projets est une condition qui a été mise en relation par les répondants avec les thématiques du confort des usagers, de la sécurité, de la communication entre les acteurs et du patrimoine (Figure 93).

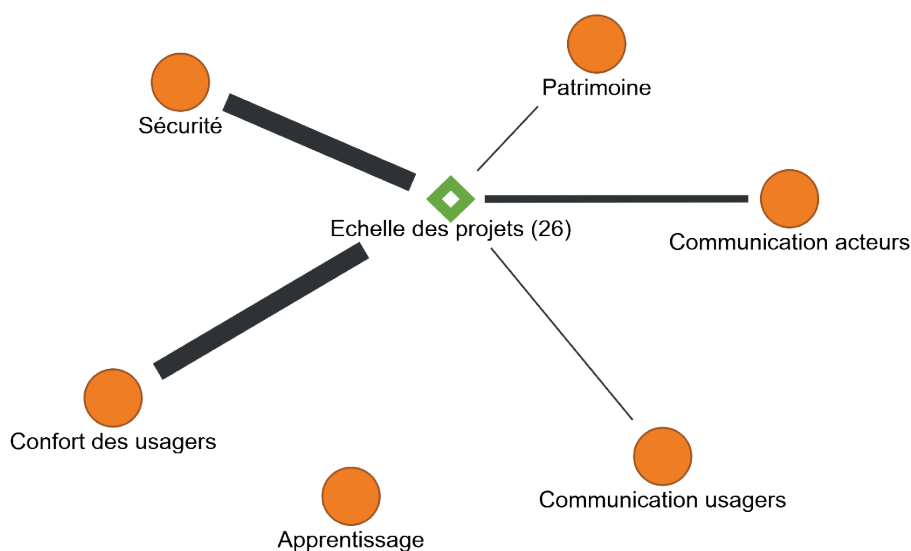


Figure 93 - Carte conceptuelle du réseau des conditions identifiées par les concepteurs quant à l'emploi du BIM dans un contexte de projet socialement durable – Echelle des projets

Après l'échelle des projets, les trois conditions les plus souvent abordées par les répondants sont le fait de disposer de moyens matériels, financiers et humains, le fait d'assurer une maintenance de la maquette même en phase d'exploitation et le fait de prévoir les usages dès le début du projet, qu'il s'agisse des paramètres à exploiter ou des procédures à mettre en place.

Les répondants relèvent que les moyens dont disposent les acteurs du projet sont une condition à la mise en place d'un processus BIM dans un contexte de durabilité sociale. Ce critère est souvent mis directement en lien par les répondants avec l'échelle des projets, considérant que des projets de plus grande ampleur disposeront de moyens plus importants. Ces moyens sont déclinés en moyens financiers, qui eux-mêmes influent sur les moyens matériels et moyens humains.

*« C'est juste une question de moyen, ce n'est pas si compliqué. Donc à mon avis pour les projets à 200 millions » (R10, architecte)*

*« Je pense que c'est la même chose pour l'apprentissage des professionnels de la construction, c'est qu'en fait virtuellement on peut générer l'accès à une base d'informations et de manipulations qui sont illimitées, pour peu qu'on s'en donne les moyens, qui nécessiteraient en vrai d'aller toujours chercher les matériaux, trouver des vrais partenariats qui n'auraient pas du tout le même budget d'investissement au*

*départ donc je pense vraiment qu'il y a une énorme plus-value à aller chercher de ce côté-là. » (R1, architecte)*

Les moyens matériels concernent aussi bien les outils logiciels que les outils physiques, comme les casques de réalité virtuelle. L'accès aux moyens matériels est directement en lien avec la disponibilité de moyens financiers.

*« Il y a des outils pour faire ça et ça se fait mais de nouveau, l'outil a un prix, il y a un personnel qui doit l'utiliser. Il faut une certaine échelle de projet. Donc si le BIM, en évoluant, pouvait se démocratiser, il pourrait être... » (R11, architecte)*

*« Réalité virtuelle je ne sais pas si on y est vraiment encore parce que je trouve que, les retours qu'on a c'est que c'est compliqué d'avoir ce casque. Aujourd'hui je pense qu'en termes de matériel on n'est pas vraiment encore au point » (R2, ingénieur)*

Les moyens humains sont souvent proposés comme un élément nécessaire au déploiement des usages BIM que nous avons proposés aux répondants. Pour exploiter les usages que nous avons listés dans le guide d'entretiens, les répondants estiment qu'il faut assurer la mise en place d'un ou plusieurs postes dédiés au traitement, à la gestion et à la maintenance des données du bâtiment. L'enjeu est financier, afin de pouvoir employer des personnes dédiées, mais il s'agit aussi de recruter des personnes disposant des compétences nécessaires.

*« Nous aujourd'hui le BIM en exploitation on y est pas du tout. Donc on utilise pas ça. Je sais pas s'il y a beaucoup de bâtiments en Belgique qui sont suivis comme ça, je pense que dans d'autres pays c'est plus le cas, en France, en Angleterre, ... Chez nous c'est vraiment pas encore le cas. Parce qu'il faut le système pour le gérer, et parce qu'il faut les gens aussi pour le gérer, c'est pas le tout d'avoir des données, on a un monitoring très poussé dans nos immeubles » (R5, ingénieur)*

*« S'il y a pas une personne qui est dédiée à son entretien à son évolution, notamment pour un hôpital où on recloisonne, on décroisonne, on change des choses tous les quatre matins, s'il y a pas quelqu'un qui suit tout ça et qui centralise, on est sur une maquette à un instant T qui va évoluer que par petites bribes. Et du coup on aura pas une visualisation globale qui va pouvoir se poursuivre. Il faut avoir quelqu'un qui fait vivre le BIM. S'il y a pas quelqu'un qui le fait vivre je pense qu'on perd la possibilité d'avoir tout de centralisé grâce au BIM en tout cas. » (R8, architecte)*

La disponibilité de moyens humains est directement en lien avec une autre condition évoquée par les répondants et qui est abordée dans l'extrait ci-dessus, celle d'assurer une maintenance de la maquette même en phase d'exploitation. Cette condition est émise à la suite du constat fait par les répondants que la maquette cesse d'être alimentée, entretenue et donc exploitable dès le début de la phase d'exploitation.

*« Typiquement on a un énorme projet, (...), on a un magnifique modèle as-build et en fait à la seconde même où l'entrepreneur a réceptionné le bâtiment le modèle a arrêté de vivre alors qu'on commençait seulement à avoir les locataires à l'intérieur qui débarquaient pour faire leurs travaux d'aménagement intérieur. Donc tous les aménagements intérieurs, qui ont parfois eu des impacts sur les communs, n'ont pas été intégrés alors qu'on vient à peine de construire le bâtiment » (R1, architecte)*

Plusieurs répondants suggèrent même que la maquette peut s'avérer inutile si elle n'est pas entretenue dans le temps.

*« Il faut voir vraiment à quel moment est la valeur ajoutée de la maquette numérique. Il y a encore des phases, je pense où ça reste trop théorique où trop utopique d'utiliser la maquette. Après, en exploitation, c'est encore compliqué parce qu'il y a tous les sujets de mise à jour si cette maquette, elle n'est pas mise à jour, elle est rapidement désuète. » (R2, ingénieur)*

*« L'étape idéale suivante, ce qui devient un DAO numérique ça devient bien une maquette numérique de gestion c'est-à-dire l'ouvrage qu'on va ensuite gérer parce qu'on va se retrouver avec, pour nous ensuite propriétaire bailleur, avoir à gérer finalement deux ouvrages en parallèle : l'ouvrage physique et puis l'ouvrage numérique. C'est-à-dire que tout ce qu'on fait sur le patrimoine il va falloir s'assurer que c'est répercuté sur la maquette numérique (...) et pour ça il faut qu'il y ait une continuité entre les deux c'est-à-dire que si on a une maquette numérique qui est trop différente finalement ou trop incomplète par rapport à tout ce qu'on peut imaginer gérer sur le patrimoine on ne s'en servira pas et vice versa. » (R3, ingénieur)*

Pour renseigner correctement les informations dans la maquette, les répondants indiquent qu'il faut au préalable prévoir les usages qui seront exploités avec le BIM. Il peut s'agir des informations dont les acteurs auront besoin pour atteindre leurs objectifs, mais aussi des procédures qui seront mises en place pour exploiter ces informations et à qui elles seront partagées.

*« Il faut savoir aussi ce qu'on veut récupérer. Parce que ça sert à rien de renseigner pour renseigner si après derrière c'est de la donnée qui va se perdre et qui va pas être utilisée parce que à la fois c'est très puissant et à la fois ça peut être un vrai casse-tête de renseigner une maquette » (R8, architecte)*

Il y a donc un enjeu à ne pas dépenser du temps et de l'énergie dans un encodage inutile. De plus, le destinataire de ces informations doit être clairement établi dès le début. Prévoir les usages s'applique également au fait d'avoir un cahier des charges concernant les attentes en termes de durabilité sociale dès le début du projet.

*« Ca doit toujours être assez cadré je trouve, après... (...) c'est toujours un peu la question à se poser, "Ok mais c'est pour poser quelle question et pour attendre quelle réponse ?" Et que faire de cette réponse, et comment l'interpréter après.(...) Même si on vient avec toutes ces datas qui ont demandé une énergie dingue, qui va les entendre, ou vouloir les entendre ? C'est toujours un peu ça que je trouve compliqué » (R7, architecte)*

*« Il faut exiger dans la maquette numérique en termes de cahier des charges, en termes de structuration, pour pouvoir justement faire le lien avec ces informations de confort des usagers. » (R2, ingénieur)*

Les répondants considèrent également, avant même de penser à l'anticipation des usages et à la maintenance de la maquette, que la présence du modèle est une condition d'exploitation des usages BIM dans un contexte socialement durable. Cet élément peut sembler évident, cependant plusieurs répondants ont mentionné que les modèles BIM n'étaient pas encore systématiquement



présents sur les projets, et que lorsqu'ils étaient présents, la base de données associée devait contenir des éléments utiles aux usages prévus.

« Si on a des moyens de communiquer qui peuvent amener à une meilleure compréhension, à créer de l'envie ou ce genre de truc, pourquoi pas. **Mais pour ça il faut avoir la base, et la base c'est d'avoir au moins le modèle.** » (R1, architecte)

« Pour la vérification des règles de sécurité, comme on peut faire des clash detection entre un modèle HVAC et un modèle stabilité, on peut aussi faire des règles qui permettent de détecter si ça respecte certaines règles de sécurité, **si le bâtiment lui-même est conçu de manière à respecter les règles établies, et si on modélise aussi les équipements extérieurs.** » (R8, architecte)

L'anticipation des usages et la présence du modèle sont mises en lien par les répondants avec la thématique de la sécurité, du confort des usagers et de la communication avec les usagers. La maintenance de la maquette est mise en lien avec les thématiques de la communication entre les acteurs, de la sécurité et du confort des usagers. Les moyens matériels, financiers et humains sont mis en lien avec les thématiques de la communication entre les acteurs, de la communication avec les usagers, de l'apprentissage et du confort des usagers (Figure 94).

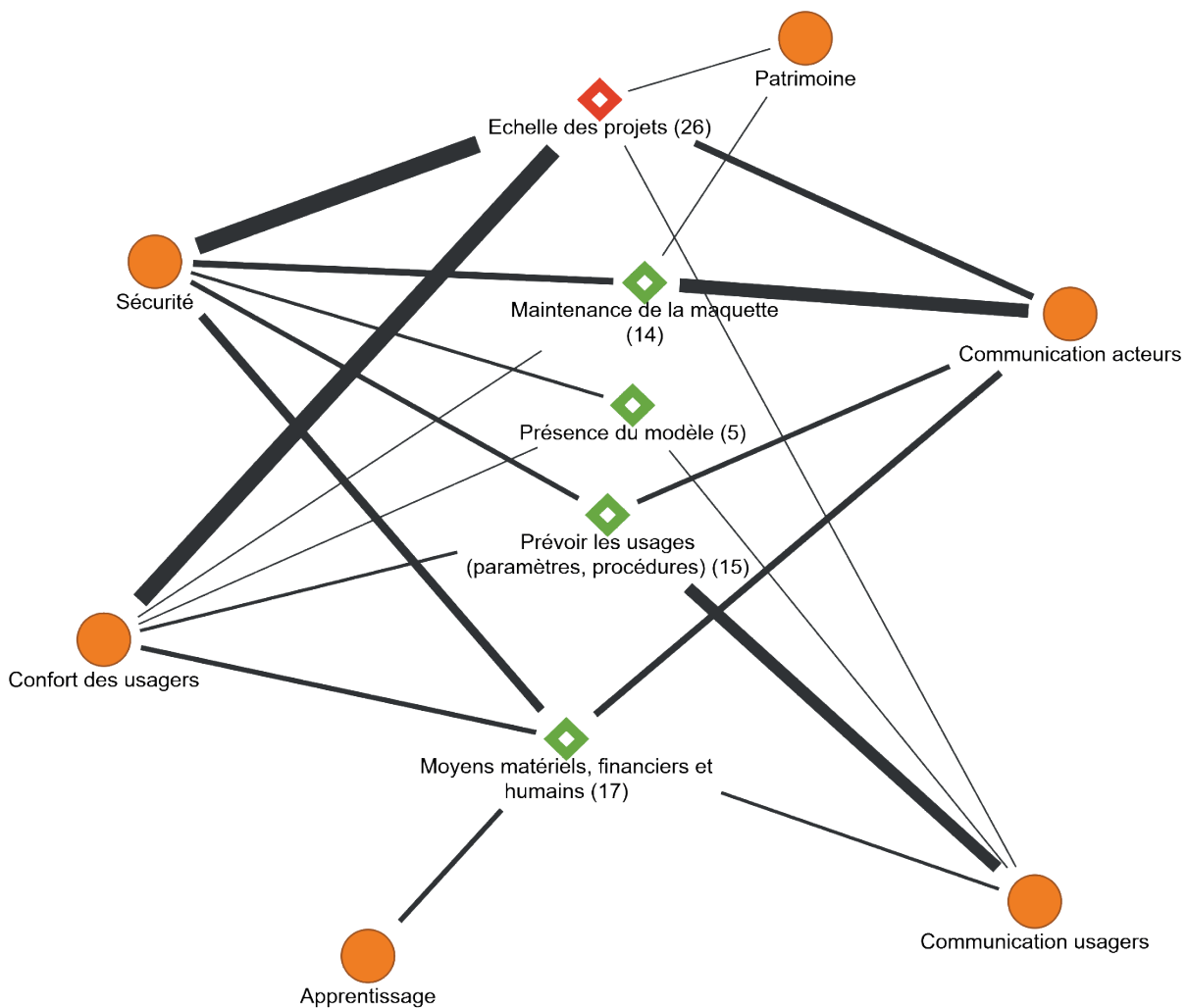


Figure 94 - Carte conceptuelle du réseau des conditions identifiées par les concepteurs quant à l'emploi du BIM dans un contexte de projet socialement durable – Moyens matériels, financiers et humains, prévision des usages, maintenance de la maquette, présence du modèle

La condition suivante concerne le fait que les concepteurs doivent pouvoir avoir confiance dans les données. Certains soulignent que l'exactitude des données est primordiale, et que si les acteurs du projet ont des doutes sur la fiabilité de ces données ils ne les utiliseront tout simplement pas.

*« Si la donnée n'est pas fiable, si on n'est pas sûr que la donnée est fiable elle sera..., pareil, elle ne sera pas utilisée. Donc, nous, on travaille beaucoup sur ces sujets de gouvernance, de mises à jour, de fiabilisation de la donnée qui sont fondamentales aussi pour utiliser cette maquette » (R2, ingénieur)*

La confiance en l'utilité de la donnée fait aussi partie des questionnements des concepteurs interrogés. Ces derniers peuvent se sentir démunis face à la quantité d'informations à traiter et à organiser dans le but de les rendre exploitables.

*« Tu vas avoir plein de datas qui vont servir à rien, et je sais pas comment on va les trier, comment on va les prioriser etc... » (R7, architecte)*

*« Il faut le système pour le gérer, et parce qu'il faut les gens aussi pour le gérer, c'est pas le tout d'avoir des données, on a un monitoring très poussé dans nos immeubles. En fait c'est pas évident parce que tout mesurer et ne rien en faire... Et il faut avoir confiance dans l'information, c'est pas si facile que ça de mettre en place un monitoring, et de s'assurer que les valeurs qui nous sont renvoyées par l'outil soient les bonnes. Ça demande un vrai bon suivi. » (R5, ingénieur)*

La confiance en la donnée a été abordée lors des entretiens majoritairement dans la thématique du confort des usagers, mais également dans les thématiques de la communication avec les usagers et de la communication entre les acteurs (Figure 95).

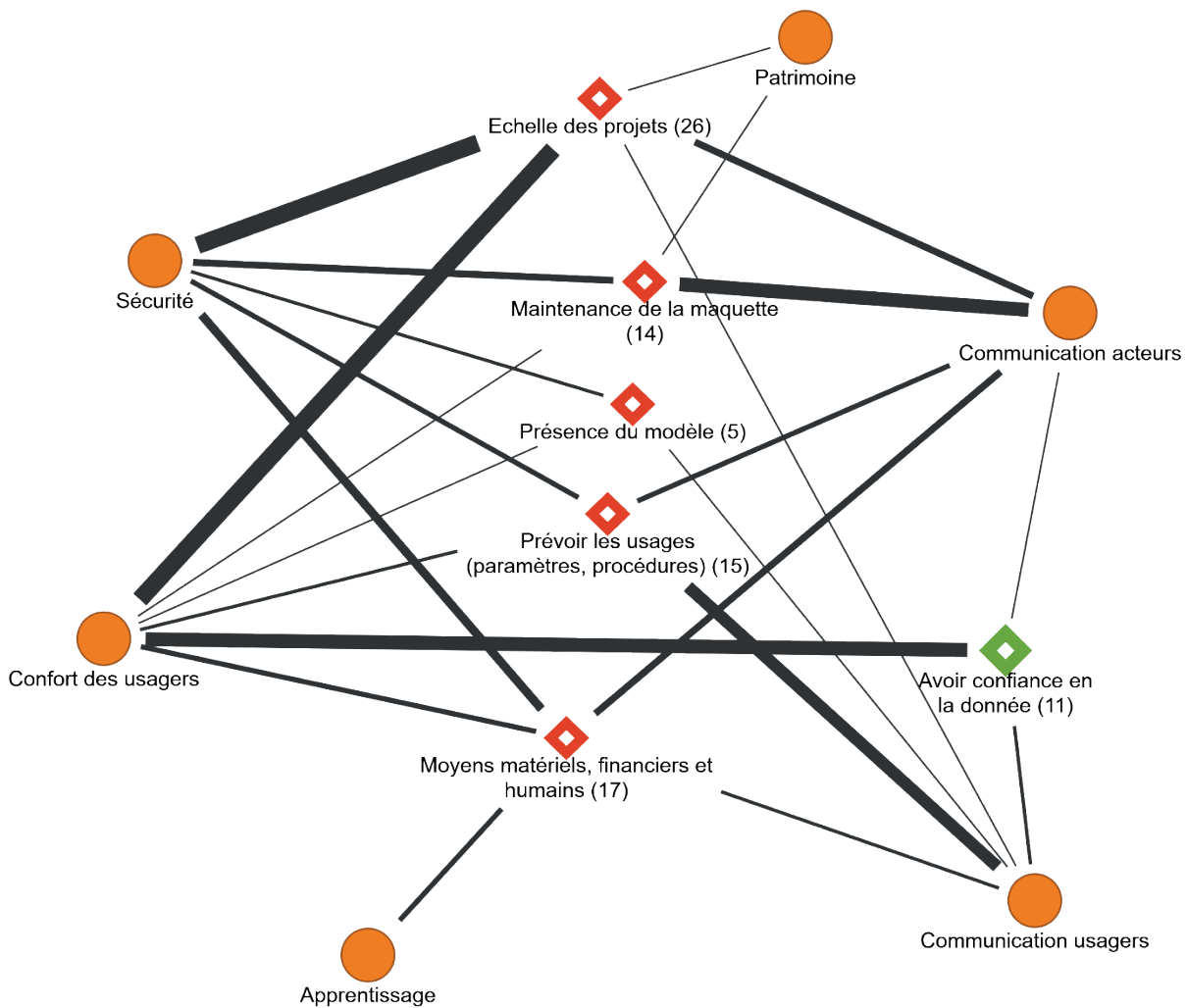


Figure 95 - Carte conceptuelle du réseau des conditions identifiées par les concepteurs quant à l'emploi du BIM dans un contexte de projet socialement durable – Confiance en la donnée

Une autre condition relevée par les répondants est celle de l'interopérabilité. Elle est en lien direct avec deux autres conditions qui ressortent de nos entretiens : le travail collectif et l'uniformisation des données. Ces trois conditions sont directement connectées à la sphère de la communication. Une interopérabilité efficace est perçue comme une condition qui permettra de faciliter les échanges entre acteurs sans perte de données au cours du processus. Cependant, cette interopérabilité n'est pour l'instant pas perçue comme efficace.

*« Quand on est dans l'univers Revit c'est simple, tout le monde tous les bureaux d'études et autres, on a tous le même format de fichiers. Et donc les différentes maquettes parlent exactement la même langue. Si on est pas dans le même logiciel il faut passer par un format intermédiaire qui est le format IFC qui est quand même un peu complexe parce que je dois extraire mes données en format IFC, je dois les donner au bureau d'étude qui va les récupérer, les mettre dans son système et faire le chemin dans l'autre sens. C'est un bête jeu, il y a toujours des pertes entre les deux et il faut être super rigoureux pour avoir bien identifié les éléments qu'on va s'échanger pour pas les perdre en cours de route et qu'ils reviennent rangés au bon endroit et pas ailleurs. Ça c'est vachement laborieux mais par contre dans l'univers Revit, tout est là et est*

*excessivement simple. On peut travailler à plusieurs dans la même maquette. » (R11, architecte)*

*« On voit qu'entre la conception-réalisation, l'exécution et l'exploitation, s'il y a encore de nouveaux acteurs qui vont intervenir en exploitation, des gestionnaires, des bailleurs, **ce n'est pas du tout les mêmes usagers, qui ont aussi eux plein d'outils, donc cette maquette, il faut qu'elle puisse être interopérable avec ces outils qui souvent ont des formats aussi propriétaires. Il y a un vrai manque encore d'interopérabilité, de standardisation qui fait que la communication est encore compliquée** » (R2, ingénieur)*

Ce manque d'interopérabilité nuit au travail collectif, un autre élément soulevé par les répondants. De plus, le travail collectif efficace est lui-même conditionné par une uniformisation dans l'encodage des données.

*« Moi quand j'ai commencé à m'intéresser un peu plus sérieusement à ce qui se faisait déjà en maquette numérique **j'étais assez étonné, moi dans mon esprit, la maquette numérique, l'intérêt c'est que ça soit un mode de communication, que ça soit un outil d'échange partagé, un espace collaboratif** et semble-t-il dans la plupart des opérations encore (...) **le maître d'œuvre fait sa maquette numérique, au mieux une entreprise fait sa maquette numérique et puis il y a quelqu'un au milieu qui essaye de faire matcher tout ça et qui essaye de les remettre dans une seule maquette numérique et je trouve ça un peu dommage** » (R3, ingénieur)*

*« Quasi toutes ses fenêtres et toutes ses portes étaient en modèle générique dans Revit par exemple, donc du coup quand on a dû exporter toutes les infos au format IFC tout était en BuildingElementProxy au lieu que les fenêtres soient dans "window" et les portes dans "door". Donc tout ça c'est des trucs où en fait du coup **l'info n'est pas ré-exportable mais c'est parce que l'architecte il a toujours modélisé comme ça et ça n'a jamais posé de soucis mais à partir du moment où on doit communiquer il faudrait avoir des conventions pour que tout le monde comprenne** » (R4, architecte)*

Dans les réponses récoltées, le travail collectif en BIM, l'uniformisation des données et l'interopérabilité sont exclusivement liés à la thématique de la communication entre les acteurs du projet. Une autre condition est mise en évidence dans la thématique de la communication entre les acteurs du projet, il s'agit de la volonté du maître d'ouvrage. En effet, l'un des répondants a souligné que faire usage du BIM en général relève de la volonté du maître d'ouvrage. Si ce dernier choisi de travailler avec au moins un bureau qui n'utilise pas le BIM, la collaboration BIM est entravée pour tous les autres bureaux choisis (Figure 96).

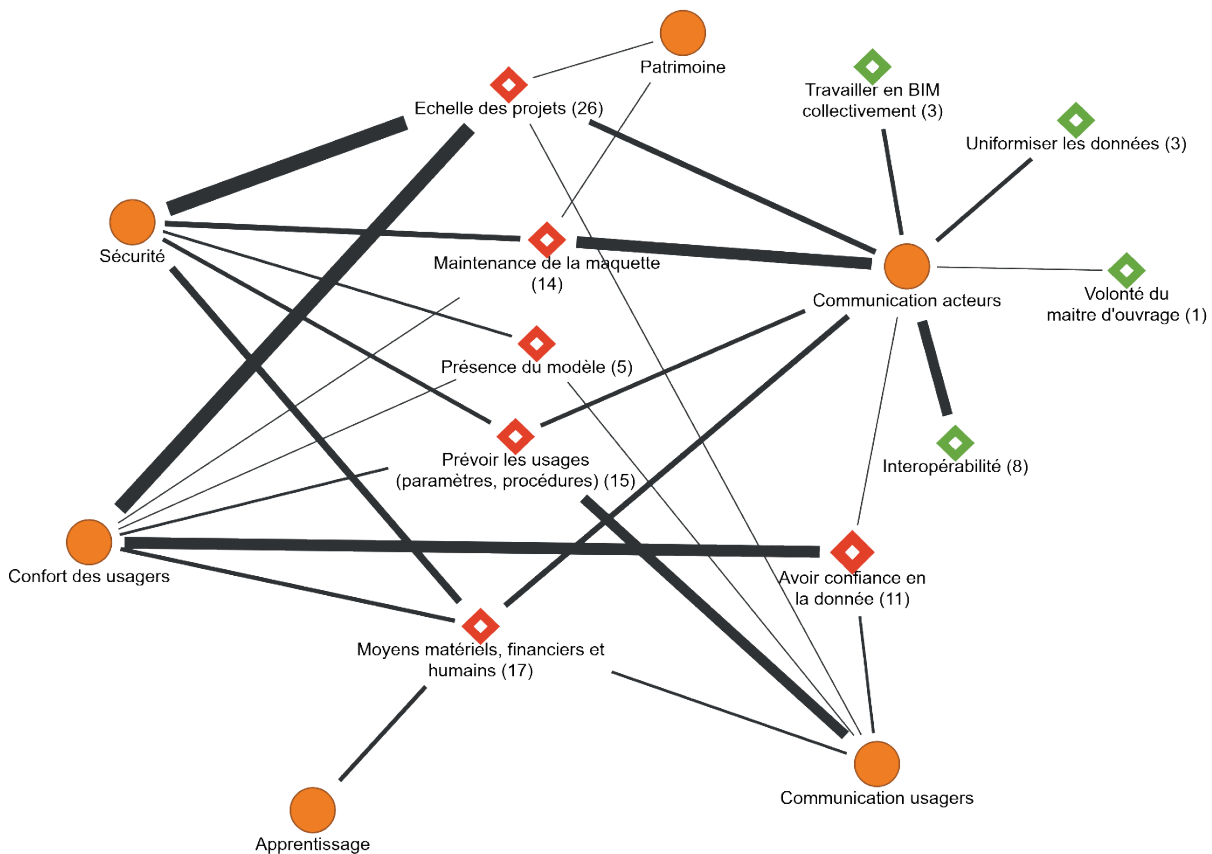


Figure 96 - Carte conceptuelle du réseau des conditions identifiées par les concepteurs quant à l'emploi du BIM dans un contexte de projet socialement durable – Interopérabilité, Travail collectif, Uniformiser les données, Volonté du maître d'ouvrage

Parmi ces conditions, on observe que la plupart concernent au minimum trois thématiques (Maintenance de la maquette, Présence du modèle, Prévoir les usages, Echelle des projets), voire quatre thématiques (Moyens matériels, financiers et humains). Une seule thématique, celle de la communication entre les acteurs, se démarque en comptant quatre conditions qui lui sont exclusivement associées (Travailler en BIM collectivement, Uniformiser les données, Volonté du maître d'ouvrage et Interopérabilité).

Dans le tableau ci-dessous (Tableau 34), on peut observer que la thématique à laquelle les répondants attribuent le plus de conditions est également celle de la communication entre les acteurs avec un total de huit conditions différentes affectées à cette thématique. Le confort des usagers est la deuxième thématique à laquelle les répondants affectent le plus de conditions avec six conditions différentes attribuées. Viennent ensuite les thématiques de la sécurité et de la communication avec les usagers, pour lesquelles cinq conditions ont été attribuées. La thématique du patrimoine s'est vue affectée à deux conditions, et celle des processus d'apprentissage à une seule condition.

Sécurité	Confort des usagers	Apprentissage	Communication avec les usagers	Communication entre les acteurs	Patrimoine
Echelle des projets (10)	Echelle des projets (10)	Moyens matériels, financiers et humains (3)	Prévoir les usages (7)	Maintenance de la maquette (8)	Echelle de projets (1)
Moyens matériels, financiers et humains (5)	Avoir confiance en la donnée (8)		Moyens matériels, financiers et humains (2)	Interopérabilité (8)	Maintenance de la maquette (1)
Maintenance de la maquette (4)	Moyens matériels, financiers et humains (3)		Avoir confiance en la donnée (2)	Echelle des projets (4)	
Prévoir les usages (3)	Prévoir les usages (2)		Présence du modèle (1)	Moyens matériels, financiers et humains (4)	
Présence du modèle (2)	Présence du modèle (1)		Echelle des projets (1)	Travailler en BIM collectivement (3)	
	Maintenance de la maquette (1)			Uniformiser les données (3)	
				Volonté du maître d'ouvrage (1)	
				Avoir confiance en la donnée (1)	

Tableau 34 - Répartition des conditions par thématique d'usage

Nous ne l'avons pas fait dans ce travail, cependant il pourrait être intéressant de compléter cette partie de l'enquête en utilisant une logique orientée vers la responsabilité des acteurs. Cela permettrait d'identifier quel acteur porte la responsabilité de chacune des conditions évoquées ci-dessus. Les différents types d'acteurs pourraient ensuite être interrogés à propos des éléments qui ont une influence sur la mise en place ou non de ces conditions, dans l'objectif de créer les conditions les plus favorables à l'intégration de la durabilité sociale dans les processus BIM.

#### 7.4.4 Synthèse

En conclusion, à partir des entretiens réalisés, nous avons observé des attentes de la part des concepteurs, des freins perçus par les concepteurs et des conditions que les concepteurs estiment nécessaires pour le traitement des usages BIM, en particulier dans un contexte de durabilité sociale.

De manière générale, on observe que les attentes des concepteurs sont portées en premier lieu sur l'utilisabilité des processus et technologies, qui est un élément vraiment central dans leur discours, touchant à presque toutes les thématiques. Rendre les usagers autonomes est également un sujet qui se démarque, en particulier en ce qui concerne le confort et la communication. Le caractère portatif des informations et de la maquette numérique, ainsi que le contrôle du bâtiment, sont deux attentes mentionnées plusieurs fois par les répondants. D'autres attentes sont également apparues dans les analyses d'entretien, de manière plus anecdotique. Il s'agit de l'efficacité, l'innovation, la diminution des risques, le gain de temps, l'augmentation de la satisfaction, la réduction des conflits et le renouvellement des processus de communication. Les attentes des concepteurs concernent principalement les phases de conception et de construction.

Les freins avancés par les répondants peuvent être regroupés en deux types de freins : ceux qui sont liés à l'adoption du BIM de manière générale, et ceux qui sont en lien avec l'un des piliers de la durabilité. La première catégorie correspond au poids des données, à la survente du BIM, à la multiplicité des outils, à la maturité numérique du secteur, et à l'augmentation de la charge de travail, ainsi qu'à la formation des acteurs et à l'accès à la technologie. Ces freins sont des freins très ancrés dans la problématique : il s'agit des freins qui sont les plus souvent abordés par les répondants et sont mis en lien avec un plus grand nombre de thématiques que les autres freins. Dans la deuxième catégorie, le pilier économique est représenté par l'investissement financier et la rentabilité, le pilier écologique est représenté par la maturité écologique du secteur, et le pilier social est représenté par l'implication des citoyens, la subjectivité de la sensation de confort, et le sentiment de perte d'autonomie du concepteur, ainsi que par la formation des acteurs et l'accès à la technologie qui font également partie des freins en lien avec l'adoption du BIM.

Concernant les conditions exprimées par les répondants, on peut constater que la plupart des conditions posées concernent au moins trois thématiques. C'est le cas pour l'échelle des projets, la maintenance de la maquette, la présence du modèle, la prévision des usages, la confiance en la donnée et les moyens matériels, financiers et humains. Une thématique se démarque à la fois par le fait qu'elle est la seule à dépendre de conditions qui lui sont propres, et par le fait qu'elle est la thématique qui est mise en lien avec le plus de conditions. Il s'agit de la thématique de la communication entre les acteurs du projet, qui semble donc être un sujet de préoccupation fort pour les répondants.

## 7.5 Le rôle des technologies numériques

Au cours de nos entretiens, les répondants ont régulièrement évoqué spontanément les technologies numériques (Tableau 35). Dans notre analyse, soixante-six segments au total ont été attribués à la notion des technologies numériques. Il nous a donc semblé important d'accorder à ces dernières une attention particulière dans la rédaction des résultats de cette enquête.

Codes	Nombre de segments codés	Nombre de documents contenant le code
Capteurs	13	10
Réalité virtuelle	12	12
Smart building	8	6
Scanner	8	7
Intelligence artificielle	7	6
Réalité augmentée	4	3
Drone	4	3
Serious game	3	3
Jumeau numérique	2	2
Machine learning	2	1

Tableau 35 - Liste des codes en lien avec les nouvelles technologies

Les technologies numériques regroupent ici toute référence des répondants à un sujet nécessitant un support numérique pour être mis en place. Les répondants font référence à ces outils pour trois usages différents en lien avec le smart building : communiquer des informations (serious game, réalité augmentée, réalité virtuelle), connecter le bâtiment (capteurs, drone, scanner), et assister le concepteur (intelligence artificielle, machine learning).

Le concept qui regroupe ces éléments est donc celui du smart building. Les répondants estiment que, dans les années à venir, l'emploi des technologies numériques dites « smart » va s'intensifier dans le milieu de la construction. Les répondants voient également un potentiel à coupler ces technologies aux processus BIM.



*« Je pense qu'il y a un gros changement qui va s'opérer dans le secteur de la construction, c'est l'intégration du smart et du coup une fois que le smart s'intègre au modèle BIM, évidemment **les deux ensembles vont avoir une énorme plus-value**, ça veut dire qu'on va arriver à des bâtiments qui au lieu d'être monitorés exclusivement par un facility manager externe, les personnes auront de plus en plus facile à interagir avec le bâtiment grâce à leur smartphone, grâce aux objets connectés, l'IOT etc. et que **le modèle BIM peut servir de support à bien comprendre les choses donc le confort peut augmenter**, ça peut avoir un impact sur l'environnement autant négatif que positif donc on va se limiter au titre, **au niveau du confort je pense qu'effectivement ça va permettre d'aider les choses.** » (R1, architecte)*

Les répondants estiment que le recours aux technologies numériques permettrait de faire vivre le bâtiment en phase d'exploitation, à travers l'utilisation du jumeau numérique. Le recours à un jumeau numérique est une étape clé pour mettre en place une démarche de smart building, car ce bâtiment virtuel permet d'être le pont entre le bâtiment réel et la base de données. Selon les répondants, la tendance semble pencher vers de plus en plus de connections entre réel et virtuel dans le secteur du bâtiment.

*« L'idée c'est que le BIM serve à toutes les étapes du projet mais aussi serve après que le projet soit construit, lors de l'exploitation, et si il y a des capteurs par exemple de CO2, ou des capteurs qui détectent si telle salle a été utilisée tel jour, ça peut être repris dans la plateforme de gestion qui peut être liée au jumeau numérique. Ça permet de pas devoir nettoyer des salles où on est sûr qu'on a pas été, et visuellement voir plus facilement "les salles bleues c'est bon, il faut pas aller les nettoyer". » (R6, ingénieur)*

*« "Localisation sur un chantier en temps réel des ouvriers et des équipements", ça peut être très marrant, parce que **maintenant ils sont de plus en plus tous connectés, tous les trucs**. Et nous on essaie d'expérimenter aussi la caméra 360 sur les casques, j'ai vu de plus en plus de trucs où parce qu'il y avait la maquette BIM, les gens se baladaient, il y avait un comparatif entre le réel que la caméra voyait et la maquette BIM, pour voir des problématiques. (...) Ce côté capteur sur les casques des ouvriers je trouve ça assez intelligent, assez facile à mettre en œuvre, surtout que **maintenant sur tous les chantiers quasi il y a un wi-fi chez nous.** » (R7, architecte)*

On peut observer que les thématiques qui ont suscité le plus de variété dans l'intérêt des concepteurs quant au recours aux technologies numériques est la thématique du patrimoine et celle du confort des usagers (six concepts différents mentionnés), suivie de près par celle de la sécurité (cinq concepts différents mentionnés) (Tableau 36).

Sécurité	Confort des usagers	Apprentissage	Communication avec les usagers	Communication entre les acteurs	Patrimoine
Objets connectés (6)	Objets connectés (6)	Réalité virtuelle (4)	Serious game (1)	Intelligence artificielle (1)	Scanner (8)
Réalité virtuelle (5)	Capteurs (4)	Serious game (2)		Objets connectés (1)	Drone (4)
Réalité augmentée (4)	Machine learning (2)				Capteurs (3)
Intelligence artificielle (3)	Intelligence artificielle (2)				Réalité virtuelle (2)
Capteurs (1)	Jumeau numérique (2)				Intelligence artificielle (1)
	Réalité virtuelle (1)				Objets connectés (1)

Tableau 36 - Répartition des concepts liés aux technologies numérique par thématique d'usage

### 7.5.1 Communiquer

Comme nous le mentionnons ci-dessus, l'une des plus-values perçues réside dans la capacité à utiliser ces technologies numériques pour faciliter la communication, notamment avec les usagers, tout en permettant de créer des interactions entre le réel et le virtuel. Cette communication s'opère à travers la vulgarisation des paramètres techniques liés à la consommation du bâtiment. De leur côté, selon les concepteurs, les usagers semblent s'intéresser également à l'accès à ces informations.

*« Historiquement ils étaient dans la main d'un expert, là où le BIM va amener une plus-value c'est que ça va permettre peut-être, de nouveau en digital twin, d'aider à la compréhension et de rendre ça aussi smart pour prendre un terme un peu générique, plus accessible et donc de permettre aux utilisateurs eux-mêmes, de comprendre leur impact sur le bâtiment de chauffage, de froid, de confort, etc. et du coup d'avoir un impact environnemental parce qu'ils vont s'auto challenger ou se challenger avec d'autres personnes ». (R1, architecte)*

*« Ils sont intéressés par tout ce qui est bâtiment connecté "smart building" où là on va leur donner des informations sur la possibilité de gérer à distance leur dispositif de chauffage, pour certains patrimoines, de gérer à distance l'ouverture et la fermeture des volets, le contrôle d'accès, la possibilité de laisser entrer ou pas les visiteurs à distance dans la résidence, il y a tous ces aspects-là, donc la vidéoprotection que j'évoquais tout à l'heure donc il y a tous ces aspects de service. » (R3, ingénieur)*

La communication à travers la réalité augmentée est exclusivement abordée par les répondants dans le cadre de l'amélioration de la sécurité des projets. Cependant, cette pratique est plutôt positionnée dans le futur, en conséquence de la maturité numérique du secteur jugée insuffisamment développée par les répondants. Cette impression des concepteurs se rapproche du constat que nous faisons dans la section « 3.3.4 Limites du BIM », selon lequel le BIM ne serait pas encore implanté à son plein potentiel dans les bureaux d'architecture (Hochscheid, 2021)

*« La première chose ce serait d'avoir en cas d'incendie une mise à disposition directe du modèle BIM et aussi en réalité augmentée pour les pompiers, et qu'ils puissent directement identifier, si on modélise tout ça, on met du sprinklage etc, c'est super c'est chouette hein, il y a toute l'info qui est dedans. (...) Si c'est pas facile, si c'est pas intuitif, ça ne sert à rien pour des métiers de la sécurité. Donc je pense que la facilitation est un point crucial, et donc je pense que la réalité augmentée peut peut-être jouer un rôle là-dedans. Autant en temps réel sur chantier, que pour des interventions externes. » (R1, architecte)*

*« Maintenant il faut voir dans la pratique, parce que c'est vrai que je vois des choses qu'on nous présente... (...) Avoir des casques de réalité augmentée pour aider les ouvriers à mettre en œuvre tel ou tel équipement. On est encore loin de ça aujourd'hui dans la construction telle qu'on la vit. Il y a quand même encore un gap entre... Tout le monde fait pas du tout du BIM encore, on est encore vraiment loin. » (R5, ingénieur)*

La réalité virtuelle quant à elle est mise en lien avec des thématiques plus variées que la réalité augmentée : le patrimoine culturel, le confort des usagers, la sécurité et les processus d'apprentissage, bien que ces deux derniers thèmes semblent être plus souvent abordés par les répondants. En ce qui concerne la sécurité, l'intérêt des concepteurs porte sur la capacité à s'entraîner dans un environnement sécurisé, que ce soit concernant les procédures d'évacuation ou l'entraînement à des techniques de construction à risque, tel que le travail en hauteur.

*« Ça pourrait être pas mal d'utiliser le BIM comme exercice d'intervention en réalité virtuelle pour entraîner les équipes des trucs comme ça avec des casques etc. » (R10, architecte)*

*« Que quelqu'un puisse s'entraîner dans un environnement... J'ai entendu des trucs sur les formations de travail en hauteur, tu mets un casque et tu t'imagines vraiment en hauteur, et du coup tu acquiers certains réflexes sans être vraiment mis en danger. T'es virtuellement confronté à une situation un peu dangereuse pour t'entraîner à cette situation, alors que t'y es pas vraiment. » (R6, ingénieur)*

Il s'agit donc également d'une référence à des processus d'apprentissage, qui peut s'étendre, au-delà de l'entraînement dans un environnement sécurisé, à l'apprentissage de techniques de construction et des phases du processus de construction.

*« C'est aussi le fait de voir les nœuds constructifs en 3D, comprendre des nœuds constructifs plus facilement grâce au BIM et aussi on voit, avec la réalité virtuelle, "hop j'enlève les couches". Oui et améliorer la compréhension pas seulement de l'aménagement des espaces mais de comment un bâtiment est construit, des phases aussi » (R6, ingénieur)*

Un répondant suggère également le recours à la réalité virtuelle pour communiquer autour du projet afin d'anticiper les malentendus entre la proposition du concepteur et la demande du maître d'ouvrage.

*« En tout cas le fait que le client pourrait non seulement avec le BIM, mais encore mieux avec la réalité virtuelle, se promener virtuellement dans le bâtiment avant qu'il soit construit, et donc mieux comprendre ce qui l'attend avant de donner son feedback, avant que ce soit trop tard. Ça, ça va limiter ce problème. Ça va limiter les inconvénients parce qu'on aura limité les inconvénients plus tôt, parce qu'il aura mieux compris ce qu'on lui propose, il saura donner plus de feedback. Et ça aura été changé sur la version numérique, plutôt que d'être trop tard, ou d'être changé de manière coûteuse sur le chantier. » (R6, ingénieur)*

Les jumeaux numériques permettent également de mettre en place des serious game, qui peuvent servir à la fois pour faciliter la communication avec les usagers et en tant qu'outil d'apprentissage, bien qu'il soit mentionné dans les réponses collectées que ce genre de pratique nécessite beaucoup de travail et d'investissement pour pouvoir être menée à bien.

*« Je dis pas qu'on doit aller tuer des zombies dans la nouvelle gare de Liège pour voir si elle est bien, mais par contre aller faire une escape room... Mais à ce moment-là ça demande un énorme développement, c'est expérimenter des espaces, trouver, essayer de se déplacer le plus rapidement possible d'un espace à l'autre... On voit comment les gens vont utiliser l'espace. (...) C'est la même question que la participation citoyenne, c'est comment on arrive à avoir des réponses sans que les gens aient l'impression qu'on leur ait posé la question » (R7, architecte)*

En s'exprimant au sujet de l'apprentissage des jeux d'acteurs dans la construction, un des répondants fait référence à l'apprentissage par le jeu, en estimant souhaitable que ce genre de pratique pédagogique se développe.

*« Mais Sim's city fait pas déjà tout ça ? (Rire) C'est dans les jeux qu'ils font tout ça. Il n'y a pas encore un jeu de promotion immobilière ? Mais on va inventer ça (rire) » (R10, architecte)*

Les propositions des répondants concernant le fait de communiquer sont donc majoritairement portés sur la réalité virtuelle, qui a été abordée dans douze segments analysés. La réalité augmentée et les serious games sont mentionnés respectivement dans quatre et trois segments analysés (Figure 97).



Figure 97 - Technologies numériques - Communiquer

## 7.5.2 Connecter

Dans cette section, qui regroupe les codes orientés vers le fait d'alimenter en données le bâtiment virtuel, on retrouve trois notions : les capteurs, les drones et les scanners. Le concept le plus souvent abordé par les répondants est celui des capteurs, qui regroupe treize segments de réponses, toutes thématiques confondues. Vient ensuite celui des scanners avec huit mentions et enfin celui des drones avec quatre mentions. Les capteurs en particulier sont perçus comme un moyen de collecter de l'information dans le bâtiment construit, afin de faire correspondre le bâtiment virtuel à la réalité. Il est alors attendu que le jumeau numérique soit le plus complet possible.

*« Mais à ce moment-là peut être que le plus intelligent ce serait de partir de capteur... (...) Je me dis qu'on pourrait avoir des capteurs positionnés, même pour les taux d'hygrométrie, des choses comme ça. On pourrait avoir les capteurs posés sur le bâtiment réel et qui envoient les informations sur le bâtiment virtuel. Ça on peut le faire. » (R11, architecte)*

*« Avoir un maximum de capteurs pour avoir un maximum de données et savoir améliorer les choses sur base de ce qu'on récolte comme informations. » (R6, ingénieur)*

De plus, les répondants attendent de ce jumeau numérique qu'il soit composé de données exactes et précises. L'expression « vraie donnée » est employée par les répondants pour qualifier

les données mises à jour en temps réel, ce qui leur conférerait un caractère fiable. Les répondants proposent également les capteurs comme moyen de surveillance de bâtiment à valeur haute patrimoniale afin de réagir suffisamment tôt en cas de problème pour assurer leur pérennité.

*« En fait je trouve ça super cool et ce serait l'idéal pour un peu donner des vraies datas » (R7, architecte)*

*« J'espère qu'on n'arrivera pas jusque-là et qu'on sauvera les bâtiments avant qu'ils ne bougent. Mais en cas de ... J'imagine qu'ils font un truc comme ça pour la tour de Pise... Enfin j'espère. Ils ont peut-être même des capteurs dynamiques. » (R10, architecte)*

Cet intérêt pour la protection du patrimoine grâce aux technologies numériques se répercute également dans le concept des scanners. Le recours aux scans 3D ou à la photogrammétrie, que nous regroupons ici sous l'action de scanner les bâtiments, est envisagé par les répondants pour garder des traces du patrimoine, sans pour autant s'investir dans une retranscription précise dans une maquette BIM. Cela implique de favoriser le volet visualisation au volet banque de données.

*« Quand je pense "bâtiment culturel", je pense plutôt "scan 3D", est-ce qu'on est obligés de refaire un modèle BIM précis des bâtiments existants, ou est-ce que faire plutôt un scan, ou de la photogrammétrie, qu'est-ce qu'il nous faut ? Qu'est-ce qu'on veut faire vraiment comme usage avec... je crois que dans la plupart des cas la photogrammétrie ou les scans amènent les infos qu'il faut, plus que de devoir mettre beaucoup d'énergie pour tout modéliser. Se promener dans l'environnement photogrammétrique je crois que c'est peut-être suffisant pour certains usages liés au patrimoine. » (R6, ingénieur)*

L'emploi du scan est également mis en évidence pour faciliter des relevés complexes dans des bâtiments d'intérêt patrimonial. Il est alors couplé au concept de drone, qui permet d'atteindre des endroits difficiles d'accès.

*« Je connais un collègue qui était chef de service ici dans le marketing, maintenant il est dans un bureau qui fait des recherches avec des drones pour des ponts d'autoroute, avec les fissures aussi, [et] avec le drone [pour] détecter où il y a besoin d'intervention ou de maintenance » (R9, architecte)*

*« Au bureau on a un scanner 3D qu'on balade et donc quand on a un bâtiment historique ou un bâtiment à chipoter, on va le scanner et l'idée c'est de compléter ce scanner avec un drone. Notre idée de pouvoir aller faire du relevé de bâtiment avec ça et chercher l'information sur site et pouvoir la travailler dans la maquette BIM en restant au bureau. Au lieu de devoir retourner 15 fois sur site, on emporte toutes les infos. Que ce soit une fissure, un truc cassé ou une géométrie... C'est un complément du BIM... Je pense aller chercher des infos sur site par scannage et par drone c'est un complément du BIM qui est en train de se répandre. C'est excessivement pratique. » (R11, architecte)*

Le recours aux drones et aux scanners est mentionné par les répondants uniquement dans la thématique du patrimoine. L'emploi de capteurs est également lié à la thématique du patrimoine, mais aussi à celle de la sécurité et du confort des usagers (Figure 98).

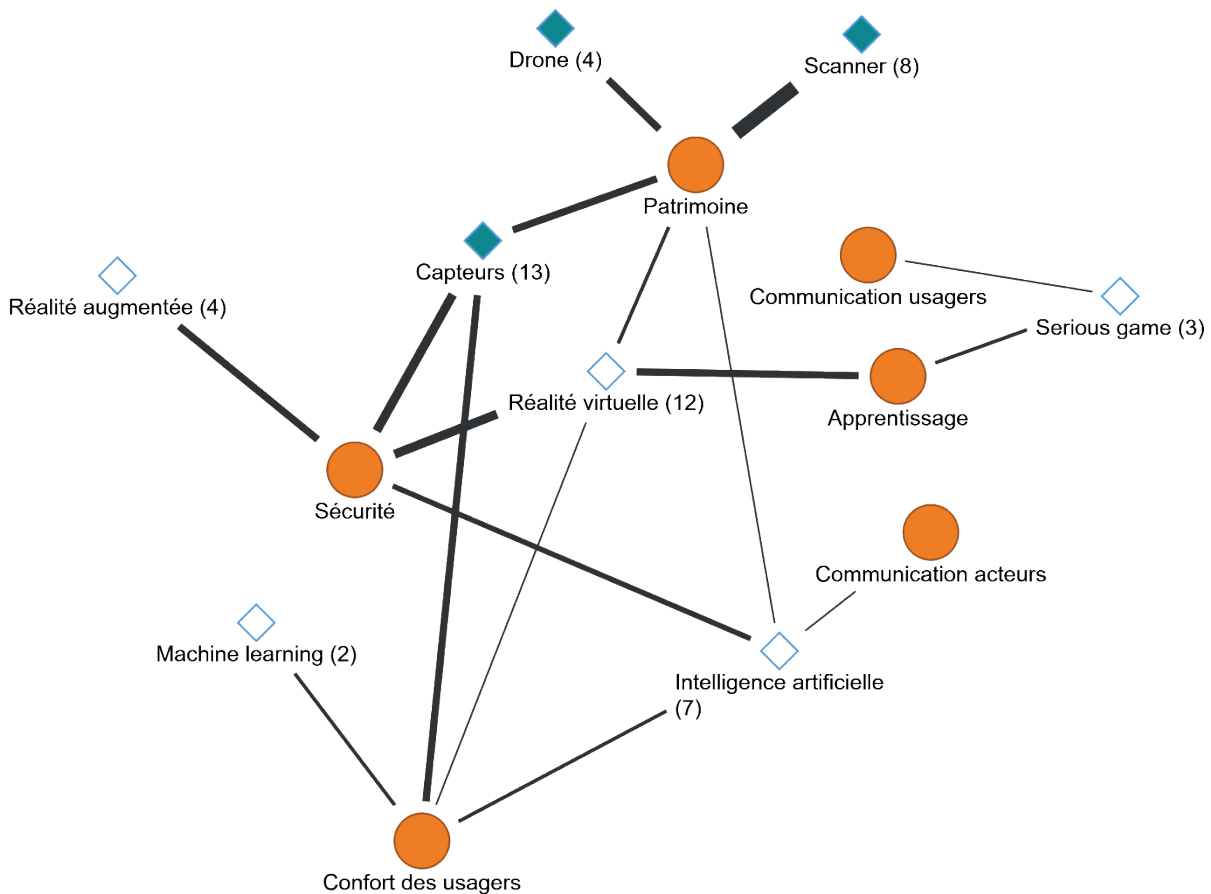


Figure 98 - Technologies numériques - Connecter

### 7.5.3 Assister

Enfin, le dernier usage mis en évidence est celui d'assister le concepteur. Il se manifeste par le recours aux intelligences artificielles et au machine learning. L'intelligence artificielle est considérée comme une science qui vise à utiliser une machine pour réaliser des tâches qui nécessitent habituellement l'intelligence de l'Homme pour être menées à bien (Pastre, 2000). Il s'agit d'un dispositif qui a pour objectif de simuler un processus de réflexion humain (Haiech, 2020). L'intelligence artificielle est mentionnée comme utile d'une part à la détection de problèmes déjà présents sur le site, et d'autre part à la simulation de différents scénarii de conception.

*« Et on travaille beaucoup aussi sur tout ce qui est par l'IA, donc c'est un peu à la marge aussi, c'est aller **détecter des fissures, des éléments caractéristiques sur les bâtiments alors ce n'est pas forcément qu'historique, mais aller en avance de phase pour l'exploitation, pour la maintenance des sites, détecter des pathologies sur les bâtiments pour anticiper des interventions, des réparations, des travaux, donc par numérisation, on récupère des nuages de points et par traitement d'images, sémantisation, on va aller essayer de détecter ces pathologies dans les bâtiments. Donc ça reste encore très expérimental, (...) on en avait discuté à un moment donné de pouvoir notamment faire passer des drones sous les toitures des gares, justement pour prévenir des fissures au niveau de ces gares un peu historiques, donc par de l'IA » (R2, ingénieur)***

Le machine learning est un domaine de l'intelligence artificielle. Il s'agit d'une branche qui vise à permettre aux machines d'apprendre à partir des données, en réalisant à partir de ces dernières des prédictions et des patterns permettant à la machine de prendre des décisions (Hastie et al., 2017). Ce dispositif est perçu par les répondants comme une solution pour expérimenter différents scénarii de conception de manière itérative, jusqu'à trouver le scénario idéal selon les critères définis par le concepteur.

*« Je parle pas mal avec deux ou trois amis qui sont vraiment dans l'IT très très poussé, qui eux parlent de machine learning et de ce genre de choses-là. **S'il y a une erreur qui est faite encore et encore et qu'on dit 46 fois à la machine "Là il faut pas le faire", ça je trouverais ça cool de pouvoir se dire "Ah t'as ton modèle 3D, tu l'orientes correctement", et puis je fais travailler un truc de machine learning qui va faire le parcours, qui va dire "Attends il y a un bug quand même" parce que ta chambre elle est trop étroite par rapport à sa hauteur.** » (R7, architecte)*

La conduite de nos entretiens s'étant étalée d'avril 2022 à aout 2023, certains répondants ont pu expérimenter pour la première fois ChatGPT, sorti en novembre 2022, peu de temps avant de répondre à nos questions. ChatGPT est défini par ses propres développeurs comme un « modèle de langage alimenté par IA » (OpenAI, 2023). Un répondant interrogé en février 2023, quelques mois après la sortie de ChatGPT, a donc fait un lien entre ce type d'intelligence artificielle et la maquette BIM, en positionnant cette technologie comme un moyen d'informer les usagers sur le bâtiment directement à partir de la maquette numérique. Cependant, ces technologies sont positionnées par la plupart des répondants dans le futur, voire l'idéal.

*« Tu demandes à ChatOpenAI de lire tous ces trucs-là, tu lui poses une question et il va chercher dedans ces documents-là, et on peut cocher de quelle source on a envie pour ne pas tomber sur des sources de bricolage brico-forum, mais de tomber sur des sources de Bruxelles Environnement plutôt. Oui je pense que ce serait intéressant. **C'est la connaissance, et c'est de la transmission d'informations. Mais si ce côté arbre à choix aide à dégrossir le truc, en tout cas c'est hyper intéressant** » (R7, architecte)*

*« Après **peut-être que l'avenir ce seront toutes les données, ou de l'intelligence artificielle qui permettra d'accélérer ou de fluidifier ces vies parallèles, ça c'est l'avenir qui le dira** » (R3, ingénieur)*

Si le concept de machine learning n'a été abordé que deux fois dans la thématique du confort des usagers, celui d'intelligence artificielle a été mis en lien sept fois au total, réparties dans les thématiques de la communication entre les acteurs, du patrimoine, de la sécurité et également du confort des usagers (Figure 99).



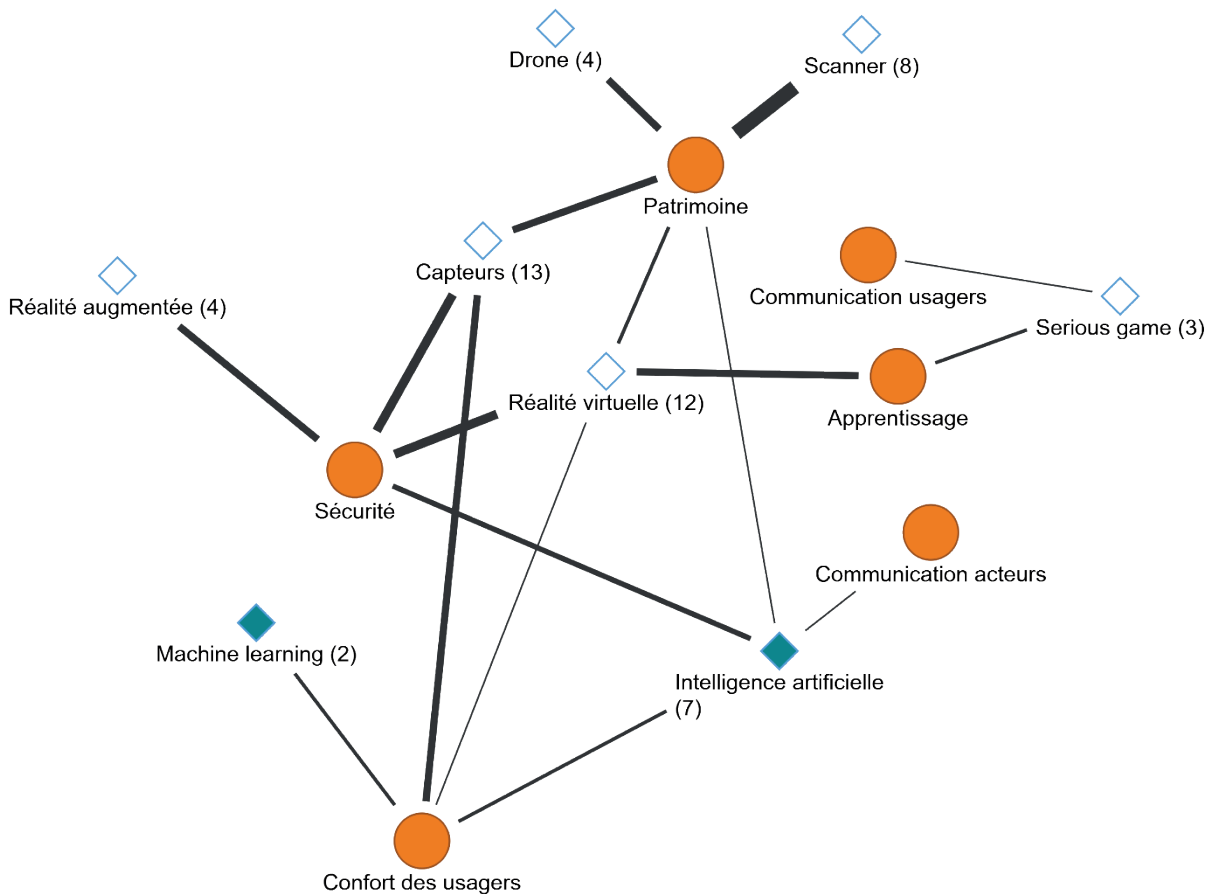


Figure 99 - Technologies numériques - Assister

### 7.5.4 Synthèse

En conclusion, nous observons un intérêt particulier des concepteurs pour les technologies numériques. Ces technologies numériques sont mises en lien avec le concept de smart building et celui de jumeau numérique, qui sont tous les deux perçus par les répondants comme étant des éléments qui tendront à se développer dans les années à venir, notamment parce qu'ils permettront une meilleure gestion des bâtiments en phase d'exploitation.

Trois approches se distinguent : communiquer les informations, connecter le bâtiment et assister le concepteur. Les concepts mentionnés par les répondants sont les capteurs, la réalité virtuelle, le smart building, le scanner, l'intelligence artificielle, la réalité augmentée, le drone, le serious game, le jumeau numérique et le machine learning (Figure 100).

Utiliser les technologies numériques pour communiquer peut, selon les répondants, faciliter la vulgarisation d'informations techniques à destination des usagers, notamment en ce qui concerne la consommation et l'impact du comportement des usagers sur leurs dépenses énergétiques. Cet usage semble être perçu par les usagers comme un service supplémentaire leur permettant d'avoir plus de contrôle sur le lieu qu'ils fréquentent. Cette communication peut s'opérer à travers le recours à de la réalité augmentée, en particulier en matière de sécurité, ou à travers la réalité virtuelle. Cette dernière peut être utilisée dans le cadre d'entraînement à la sécurité, d'entraînement sécurisé pour l'apprentissage de pratiques à risques, ou dans le cadre d'apprentissage de techniques de construction ou des jeux d'acteurs en place dans le secteur, mais également pour communiquer de manière visuelle et immersive avec le maître d'ouvrage. Le recours à la réalité virtuelle ou

augmentée peut également déboucher sur le développement de serious games à destination des usagers d'un lieu afin d'étudier leur comportement dans un espace donné et de récolter leur feedback.

Connecter le bâtiment peut, selon les répondants, se faire à travers l'utilisation de capteurs. Ces derniers ont pour but de collecter des informations afin d'alimenter le jumeau numérique de la manière la plus complète et précise possible, selon les usages souhaités. Selon les répondants, cette récolte par capteurs peut améliorer la confiance en la donnée des concepteurs. Le recours à des capteurs peut également permettre de surveiller les bâtiments d'intérêt patrimonial afin d'anticiper leur maintenance. Ce type de bâtiment peut également bénéficier de la technologie des scanners 3D, ou de la photogrammétrie, dans l'objectif de conserver une trace virtuelle d'un bâtiment, d'effectuer des relevés dans des lieux difficiles à atteindre ou complexes à reproduire, notamment grâce à l'emploi de drones, ou d'identifier diverses pathologies du bâtiment.

Assister le concepteur peut se faire via le recours à des technologies d'intelligence artificielle ou de machine learning. Ces technologies peuvent être utilisées pour informer l'utilisateur sur son bâtiment et l'aider à poser des choix, mais aussi pour optimiser les processus de conception à travers la proposition de différents scénarii aux concepteurs. Ces technologies sont perçues par les répondants comme futuristes ou idéales, le secteur de la construction n'étant pas encore assez mature sur le plan numérique pour les intégrer pleinement.

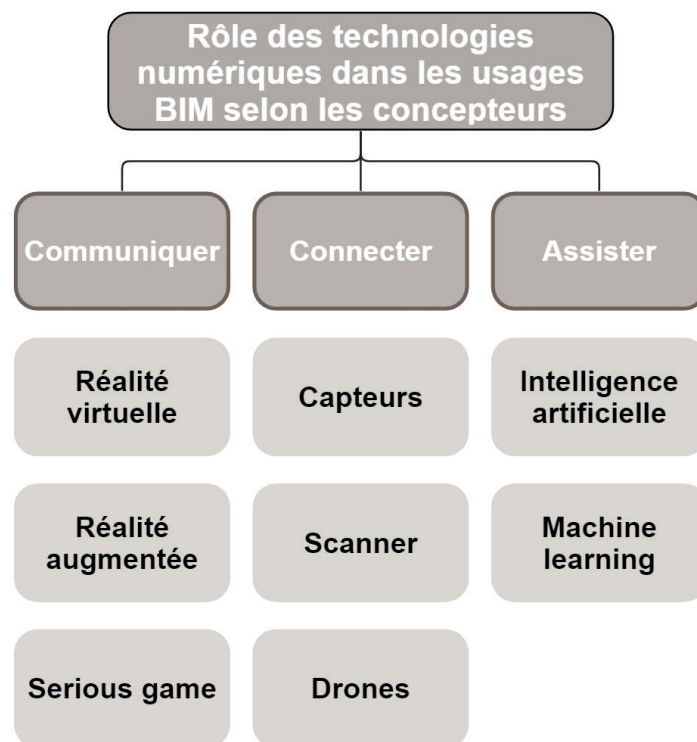


Figure 100 - Rôle des technologies numériques dans les usages BIM selon les concepteurs

## 7.6 Le sentiment de responsabilité des concepteurs

Bien que nous n'ayons pas interrogé de manière directe les répondants sur le sujet de leur part de responsabilité dans la gestion des usages BIM pour la durabilité sociale des projets, les concepteurs interrogés se sont parfois exprimés d'eux-mêmes sur le sujet. En effet, les répondants ont estimé ne pas être responsables de la mise en œuvre de certains usages, considérant qu'un autre acteur devrait en avoir la charge. Les domaines dans lesquels les répondants ne se sentent pas responsables sont l'échelle urbaine, la sécurité sur chantier, le patrimoine et la phase de maintenance du bâtiment (Tableau 37).

<p><b>Echelle urbaine</b></p>	<p><i>« C'est les villes qui vont mettre en place des outils de BIM urbain ou gis, on l'appelle comme on veut, pour faciliter cette vision-là parce que ce ne sont pas les gens eux-mêmes qui vont pouvoir se plonger dans ce genre d'outils. Et ça a un intérêt à l'échelle urbaine » (R1, architecte)</i></p>
<p><b>Sécurité chantier</b></p>	<p><i>« En fait cette question il faudrait plutôt la poser quelque part aux entreprises générales qui sont vraiment gestionnaires de leur chantier. Puisque nous on va leur imposer des... enfin on veut pas d'accident sur nos chantiers, mais ce n'est pas nous qui gérons les chantiers. Quand un chantier est fait, c'est l'entreprise générale qui est responsable de son chantier donc c'est qu'elle qui devrait voir ce qu'elle peut mettre en place avec le BIM pour éventuellement améliorer ces points. » (R5, ingénieur)</i></p>
<p><b>Patrimoine</b></p>	<p><i>« Moi ce n'est pas ma spécialité du tout le patrimoine mais je suis quand même architecte de formation et j'ai quand même une affinité » (R1, architecte)</i></p>
<p><b>Phase de maintenance</b></p>	<p><i>« Je dirais que là où s'arrête un peu mon domaine de compétence c'est que nous on est toujours en phase conception, on suit un peu le chantier. On prépare à l'exploitation, mais on n'est pas là à l'exploitation, c'est fini. Mais quelqu'un qui a bien anticipé son appel d'offre, qui a bien tout fait comme il fallait, je pense que c'est possible, la collecte des données. » (R8, architecte)</i></p>

Tableau 37 - Verbatims illustrant les thèmes pour lesquels les concepteurs ne se sentent pas responsables

## 7.7 Discussion des résultats de la deuxième partie

Cette partie de l'enquête, au contraire de la première partie, a été exploratoire et inductive (Blanchet & Gotman, 2017). Nous n'avons pas d'hypothèses de départ quant aux résultats que nous allions obtenir. L'objectif poursuivi était de faire ressortir les perceptions des répondants quant aux applications des usages BIM pour la durabilité sociale. Pour cela nous nous sommes inspirés de la méthode EBAHIE (Leleu-Merviel, 2008) pour la construction du guide d'entretien selon les concepts de « passé, présent, futur, idéal ». De la méthode EBAHIE, nous avons donc conservé la structure et les modalités de mise en œuvre des entretiens. Nous avons couplé cette approche aux méthodes d'analyse d'entretien issues de la Méthode de la Théorisation Enracinée (Lejeune, 2019) afin d'induire nos théories à partir des expériences de terrain et du vécu des concepteurs interrogés.

Trois types de résultats sont ressortis de cette partie de l'enquête. En premier lieu nous avons identifié de nouveaux usages BIM pour la durabilité sociale, qui ne faisaient pas partie des usages préalablement identifiés dans l'état de l'art. En second lieu, nous avons déterminé des attentes, des freins et des conditions perçues par les concepteurs, ce qui nous permet de proposer une approche du niveau d'acceptation des usages que nous avons proposés. En troisième lieu, nous avons relevé un grand intérêt de la part des répondants quant au rôle des technologies numériques. Dans les paragraphes suivants, nous développons ces trois types d'apports.

Les nouveaux usages identifiés s'inscrivent dans les catégories d'usages proposées aux répondants (Tableau 21). Toutes les catégories ont suscité l'apparition de nouveaux usages, à l'exception de la thématique « communication entre les acteurs du projet ». Il est possible que ce phénomène soit lié au fait que l'usage « collaboration améliorée » est vaste et englobe lui-même un grand nombre de concepts. De plus, la communication et la collaboration entre les acteurs du projet font partie de l'une des facettes que nous avons identifiées dans la définition du BIM. Il s'agit donc d'un concept qui est profondément ancré dans la pratique du BIM, et qui peut se refléter dans d'autres catégories d'usages.

C'est le cas pour la catégorie « Sécurité », dans laquelle six usages supplémentaires ont été identifiés par les répondants. Ces usages portent principalement sur le fait de pouvoir visualiser un maximum d'informations liées à la sécurité dans la maquette numérique afin de pouvoir les communiquer avec les autres acteurs, qu'ils fassent partie du projet ou soient des usagers potentiels, ou encore avec les pompiers par exemple. Dans la catégorie « Confort des usagers », la plupart des usages concernent les analyses de facteurs de confort telles que les analyses acoustiques, de flux de circulation des usagers ou de flux de circulation de l'air. A cela s'ajoute un usage en lien avec la gestion du patrimoine végétal, et un autre en lien avec la communication avec les usagers afin de faciliter leur compréhension du comportement énergétique du bâtiment. On peut donc observer que le confort des usagers est associé par les répondants à des éléments pouvant être mesurés à l'aide de capteurs tels que la ventilation, le confort acoustique ou le confort de luminosité (Gâteau, 2018). Dans la catégorie « Processus d'apprentissage pour les étudiants et les professionnels de la construction », c'est le concept de simulation qui est mis en évidence par les répondants. L'accès à une version virtuelle du bâtiment est perçu comme une opportunité de simuler pour les étudiants les processus, les jeux d'acteurs, et les techniques de construction, mais aussi de simuler des actions à risques telles que le travail en hauteur, ce qui s'adresse plutôt aux professionnels de la construction. Dans la catégorie « Patrimoine culturel », les deux usages identifiés par les concepteurs interrogés concernent d'une part la communication avec la société, et est donc lié à la diffusion de la culture, et d'autre part la détection des fissures, ce qui est plus en lien avec la maintenance de ce patrimoine culturel. Enfin, dans la catégorie « Communication avec

les usagers », les usages proposés sont tous liés à l'entretien du bâtiment et à la communication qui lui est associée : communiquer autour des entretiens à réaliser, communiquer au sujet de la résolution des pannes et communiquer sur les pannes observées par les usagers.

On peut donc observer que même si les répondants n'ont pas associé de manière consciente de nouveaux usages dans la catégorie « Communication entre les acteurs du projet », ils l'ont fait de manière détournée dans les autres catégories d'usages. Les aspects du BIM qui ont le plus inspiré les répondants pour compléter la liste d'usage sont la simulation et la visualisation.

Le point suivant concerne de manière directe l'acceptation des usages BIM pour la durabilité sociale dans la communauté des concepteurs de projet. De cette partie, nous nous attendions à pouvoir identifier de manière claire quels étaient les usages déjà ancrés dans les pratiques des concepteurs, à l'aide de la question dans laquelle nous proposons aux répondants de classer les usages sous la forme « Passé, présent, futur, idéal ». Cependant, nous avons constaté que la répartition et les points de vue pouvaient s'avérer très diversifiés pour chaque profil interrogé. Cette diversité est une source d'enrichissement des données récoltées. Cependant, cette même diversité ne nous a pas permis de tirer des conclusions sur un potentiel ancrage net des usages BIM pour la durabilité sociale, ou en tout cas pas de la façon dont nous avons initialement prévu de l'analyser. Cela s'explique par la démarche exploratoire que nous avons mise en place, et par la variété des profils que nous avons interrogés. En effet, bien que tous les profils aient été architectes ou ingénieurs, leur fonction et le domaine d'activité de leur entreprise étaient très hétérogènes : bailleur social, promotion immobilière, agence d'architecture, service public ou centre scientifique et technique.

Cette démarche a cependant donné lieu à la mise au point de trois modèles mettant en évidence les attentes des concepteurs, les freins qu'ils identifiaient et les conditions qui en découlaient. Ces trois types d'informations n'ont pas été anticipées, c'est-à-dire que nous n'avons pas cherché ces informations au moment de l'analyse. Elles ont été induites par les répondants et sont apparues suite à l'analyse selon la méthode de la théorie ancrée proposée par Christophe Lejeune (Lejeune, 2019).

Nous avons utilisé les cartes conceptuelles pour communiquer les résultats de notre enquête. Cela nous a permis de proposer un modèle des attentes que les concepteurs interrogés ont formulées quant à l'emploi du BIM pour poursuivre un objectif de durabilité sociale (Figure 84). Parmi ces attentes, celle qui a été la plus centrale dans les discussions est celle de l'utilisabilité. Cela apparaît de manière très visuelle dans la figure ci-dessous, puisque le concept a dû être positionné de manière centrale pour pouvoir être relié à toutes les thématiques. L'utilisabilité correspond à la capacité d'une technologie à être facile à utiliser (Nielsen, 1993). Le fait que ce concept soit amené par les répondants est très intéressant, car il s'agit justement de l'un des piliers de l'étude des usages, comme nous l'avons abordé dans le chapitre 3 de ce manuscrit. Une autre attente qui ressort très souvent est le fait de rendre les usagers autonomes, notamment à travers la possibilité de rendre les informations accessibles depuis des moyens de communications populaires tels que le téléphone ou la tablette afin que les usagers puissent contrôler le bâtiment. Ces trois éléments ressortent également visuellement sur la figure ci-dessous, car les segments qui les relient aux thématiques sont les plus épais. Ces segments symbolisent le nombre de fois où un concept a été abordé par un répondant dans une thématique. Le troisième constat que l'on peut faire est que la thématique de la communication entre les acteurs est celle qui a suscité le plus de variété dans les attentes proposées par les répondants, puisque six attentes différentes ont été proposées pour cette thématique.

Les freins identifiés par les concepteurs ont eux aussi été représentés à l'aide d'une carte conceptuelle (Figure 91). On observe sur le schéma que la plupart de ces freins sont reliés au minimum à trois thématiques, voire plus. Cela s'explique par le fait que ces freins sont en réalité liés à l'adoption du BIM en général, et ne sont donc pas spécifiques à la durabilité sociale. Dans cette catégorie de frein, nous avons identifié le poids des données, la survente du BIM, la multiplicité des outils, la maturité numérique du secteur, et l'augmentation de la charge de travail, ainsi que la formation des acteurs et l'accès à la technologie. En plus d'être mis en lien avec un plus grand nombre de thématiques, nous pouvons voir sur le schéma, à l'épaisseur des segments, qu'il s'agit aussi des freins les plus souvent mentionnés. D'autres freins correspondent à des caractéristiques dépendantes des piliers économiques et écologiques, mais trois piliers se démarquent du fait qu'ils sont exclusivement liés à la sphère sociale. Il s'agit de l'implication des citoyens, la subjectivité de la sensation de confort, et le sentiment de perte d'autonomie du concepteur. La formation des acteurs et l'accès à la technologie, que nous avons cités comme étant des freins liés à l'adoption du BIM, sont également des freins en lien avec la sphère sociale. Ces freins sont des caractéristiques indépendantes, mais également intangibles, ce qui les rend difficiles à mesurer et quantifier, comme nous l'avons vu dans le chapitre 2. Ces freins ont été moins souvent cités que les freins en lien avec l'adoption du BIM.

Dans le schéma des conditions identifiées par les répondants (Figure 96), on observe très bien que pratiquement toutes les conditions exprimées ont été reliées à toutes les thématiques ou presque. On peut donc considérer que ce n'est pas la thématique qui conditionne l'implémentation des usages BIM pour la durabilité sociale, mais bien la structure de fonctionnement du BIM en lui-même. On observe cependant que la thématique de la communication entre les acteurs est mise en lien avec pratiquement toutes les conditions. Il semble donc que le sujet soit au cœur des préoccupations des répondants. Surtout, nous pouvons en déduire que la communication entre les acteurs du projet est un usage qui ne peut fonctionner à son plein potentiel que lorsqu'un grand nombre de conditions est propice à sa mise en place. Cela peut également expliquer pourquoi les concepteurs n'ont pas souhaité compléter cette thématique par de nouveaux usages lors des entretiens, comme nous l'avons expliqué au début de nos résultats pour la deuxième partie d'enquête.

En plus des attentes, conditions et freins exprimés par les répondants, nous avons relevé deux éléments qui nous ont semblé dignes d'intérêt. Le premier est que, lors de l'analyse des résultats, les concepteurs ont très souvent fait référence aux technologies numériques. Les usages que les concepteurs interrogés ont projeté quant à l'utilisation de ces technologies numériques étaient liés aux objectifs de communiquer les informations, de connecter le bâtiment et d'assister le concepteur (Figure 100). On observe dans le schéma que les thématiques qui ont le plus inspiré les répondants sur le sujet des technologies numériques sont la sécurité et le patrimoine. La thématique du patrimoine a cependant ceci de particulier : nous avons remarqué au cours de notre analyse que les répondants se sont peu exprimés sur le sujet du patrimoine quant à leurs attentes, freins et conditions. Cela peut s'expliquer par le fait qu'aucun des répondants n'avait été sélectionné pour une expertise particulière dans le secteur du patrimoine. La plupart des répondants avaient donc une expérience réduite dans ce domaine. Malgré cela les répondants ont montré une forme de créativité en ce qui concerne le recours aux technologies numériques dans le domaine du patrimoine. Leurs réponses sur ce sujet faisaient souvent référence à une de leurs expériences passées mais isolées, ou à des expériences racontées par leurs collègues ou réseau. Il ne s'agissait donc pas de constats forts, basés sur une expérience du quotidien, mais plutôt de souvenirs qui les

avaient marqués, ce qui peut être un indice du grand intérêt porté par les répondants aux progrès des technologies numériques dans la construction.

Le deuxième élément que nous avons relevé est que les répondants se sont souvent exprimés quant à leur sentiment de responsabilité, face aux usages BIM pour la durabilité sociale que nous leur avons présentés. A plusieurs reprises, des répondants ont verbalisé le fait que l'usage que nous proposons ne relevait pas de leur responsabilité, ou que l'usage avait un lien avec une phase du projet dans laquelle ils ne se sentaient pas compétents. Les thématiques où nous avons eu le plus souvent ces remarques étaient celle de la sécurité, qui était assimilée à une phase du projet où les principaux responsables sont les entrepreneurs de construction, et celle du patrimoine, pour les raisons que nous évoquions dans le paragraphe précédent. La phase de maintenance du bâtiment a également été concernée par ce constat, ainsi que certains usages pour lesquels les répondants ont jugé qu'ils devaient être intégrés à une échelle urbaine. Ce fut le cas par exemple pour les flux de circulation aux abords du bâtiment, qui était l'un des usages issus des entretiens et non de notre état de l'art.

Pour compléter ces observations, nous souhaitons souligner qu'il est important de garder en tête les conditions de mise en place de notre recherche. Nos guides d'entretiens ont été construits principalement à partir d'une méta-analyse réalisée par Santos et al. en 2019. Cette dernière synthétise 317 articles couvrant une période allant de 2008 à 2017. Cela représente une quantité d'information appréciable, mais ne constitue pas une exhaustivité. Nous avons fait le choix de nous appuyer sur cette référence pour la rigueur et la qualité de l'analyse, démontrées dans l'article concerné. Ce choix a également été motivé par le fait que nous avons commencé ce travail de recherche en 2019. L'article représentait donc un caractère très récent et actualisé. Cependant, d'autres approches ont pu être développées entre temps dans la littérature scientifique.

L'une de ces approches est celle du socio BIM. Ce dernier correspond à l'étude des interactions entre les occupants d'un bâtiment et le bâtiment lui-même. Il est plus spécifiquement centré sur la manière dont les usagers peuvent interagir avec le bâtiment, mais aussi être la source de nouvelles informations issues des usagers eux-mêmes (Mesaros et al., 2018). Bien que nous ne l'ayons pas nommée sous l'appellation socio BIM, nous avons intégré dans nos synthèses la communication avec les usagers, à travers un article de El Diraby et al. sur la communication. Nous observons également que le sujet du BIM utilisé dans les processus de conception participative continue d'alimenter la recherche scientifique. Le BIM y est alors notamment mis en relation avec le CIM dans une démarche de planification bottom-up (Zingariello, 2021). Les relations entre les différentes parties prenantes du projet sont envisagées sous l'angle des réseaux sociaux (Wang et al., 2020).

*« A city digital twin can be a tool to inform citizens about urban strategies prefigured by local planners, so the administrations can test out urban design solutions, record citizens' opinions and make decisions able to respect their point of view. Thanks to a CIM model, each citizen can view a 3D model and access information about its city at any time and place, so everyone can modify and add new data creating an adaptive city model that learns from its inhabitants. » (Zingariello, 2021, p. 189)*

Une seconde approche développée plus récemment dans la littérature est celle du recours au BIM pour l'amélioration de la santé. Dans ce cas, le BIM est envisagé en tant qu'outil permettant de répondre et vérifier la concordance des bâtiments avec les cadres réglementaires dans les bâtiments de soins de santé (Soliman-Junior et al., 2020). Il est également proposé d'utiliser le BIM pour

contrôler des indicateurs mesurés dans l'environnement intérieur des bâtiments, dans le but de garantir des environnements sains (Jutraž et al., 2019). Certaines de ces recherches ont été initiées à la suite de la pandémie COVID-19, survenue en 2020, avec l'objectif d'utiliser le BIM pour mesurer des indicateurs de santé afin d'améliorer la salubrité des bâtiments (Rice, 2020).

En 2022, le BIM est proposé pour mesurer un indice de rentabilité socio-environnementale, afin d'évaluer le ratio coûts/bénéfices des actions visant à améliorer la qualité de l'environnement immédiat des bâtiments (Bertolinelli et al., 2022). Et, plus récemment, l'amélioration de la qualité de vie par la digitalisation du secteur de la construction a été abordée dans une méta-analyse publiée par des chercheurs de l'Universiti Teknologi PETRONAS en décembre 2022. Leurs résultats affirment que la numérisation des projets, en particulier via les processus BIM, favorise une conduite plus harmonieuse des projets et une amélioration de la qualité de vie à travers le traitement des enjeux environnementaux, l'automatisation des tâches, l'emploi des technologies dites « smart » et des capteurs sur site pour assurer la maintenance des bâtiments. Ils concluent que le recours aux processus BIM pour améliorer la qualité de vie offre beaucoup de potentiel, exploitable dans le secteur de la construction (Musarat et al., 2022).

De manière générale, les thématiques de la sécurité (Fagnoli & Lombardi, 2020; Parsamehr et al., 2023) et du confort des usagers (Abdelrahman et al., 2022; Utkucu & Sözer, 2020) ont continué d'être des sujets de recherche récurrents dans la littérature scientifique portant sur le BIM et les enjeux sociaux.



## CONCLUSION GENERALE

Notre démarche consistait initialement à confronter les thématiques du BIM, de la durabilité et des jeux d'acteurs. En débutant notre travail, nous n'avions pas une question de recherche clairement formulée, mais nous souhaitions confronter les thématiques de la transition numérique et la transition durable. Il s'agit de deux transitions majeures vécues par les acteurs du milieu de l'architecture et de la construction. Notre premier objectif était donc d'identifier les points de convergence entre ces deux transitions. Nous avons entamé un travail de contextualisation et de définition des concepts majeurs qui y étaient liés. Au fil de nos lectures, nous avons remarqué que la durabilité sociale était un sujet souvent traité de manière secondaire, y compris dans les démarches BIM. Cela nous a amenés à nous questionner sur la manière dont le BIM pouvait être utilisé pour répondre aux enjeux sociaux, et sur la façon dont cela pouvait être perçu par les concepteurs de projets architecturaux. C'est ce qui a donné lieu à la formulation de deux questions de recherche :

- Quelle est la place attribuée à la durabilité sociale par les concepteurs dans leur définition de l'architecture durable ?
- Comment les concepteurs perçoivent-ils l'utilisation du BIM pour répondre aux enjeux sociaux ?

Pour répondre à ces questions, nous avons réalisé une enquête en deux parties, constituées d'entretiens semi-directifs. Nous avons utilisé une méthode mixte pour aborder ces questions. La première partie de l'enquête, qui vise à répondre à la question de la place de la durabilité sociale dans les représentations des concepteurs, est basée sur une méthode hypothético-déductive. La deuxième partie de l'enquête a pour objectif de cerner la façon dont les concepteurs perçoivent l'utilisation du BIM pour répondre à des enjeux sociaux. Dans cette partie de l'enquête, le guide d'entretien est inspiré de la méthode EBAHIE (Leleu-Merviel, 2008). La méthode d'analyse est une méthode inductive, inspirée de la Méthodologie de la Théorisation Enracinée (Guillemette & Luckerhoff, 2012; Lejeune, 2019). Dans ce chapitre, nous présentons les apports du travail ainsi que ses limites, et les perspectives que nous envisageons pour la suite de cette thématique de recherche.

### Apports de la recherche

#### **La durabilité sociale et l'architecture durable, vues par les concepteurs**

Notre état de l'art démontre que l'architecture durable est une préoccupation actuelle, qui tente d'apporter une réponse aux enjeux provoqués par les changements environnementaux qui sont en cours. Nous avons observé que, dans les approches théoriques, la durabilité sociale était souvent traitée de manière secondaire par rapport aux enjeux des piliers économiques et écologiques. La vérification de cette posture sur le terrain a démontré que le même phénomène était observable dans la perception des concepteurs. Les entretiens que nous avons menés auprès des concepteurs de projets architecturaux nous ont permis de constater que ces derniers ont une représentation de

l'architecture durable qui s'articule principalement autour des concepts des matériaux, de l'énergie et de la durabilité du projet dans le temps.

En ce qui concerne la place des enjeux sociaux dans la définition de l'architecture durable selon les concepteurs, les résultats de la première partie de notre enquête ont permis d'identifier les concepts de bien-être des usagers et de relation au contexte. Cependant ces concepts sont moins présents dans les réponses que nous avons récoltées que ceux des matériaux, de l'énergie et de la durabilité dans le temps. De manière encore plus discrète, nous avons également identifié les concepts d'accessibilité, d'innovation, d'analyse du cycle de vie, de sécurité, d'acceptation sociale et de sobriété. La présence de ces concepts dans les réponses des concepteurs ne signifie pas qu'ils sont répandus et ancrés de manière concrète dans la profession. Cela démontre toutefois un intérêt de leur part pour l'aspect social de la durabilité. Cependant, nous pouvons dire que les concepteurs associent l'architecture durable prioritairement aux enjeux du pilier écologique et économique, et en particulier aux éléments mesurables et quantifiables, tels que l'empreinte carbone, la performance énergétique et la consommation d'énergie. Pour autant, ils n'excluent pas la prise en compte des enjeux sociaux. Mais ces derniers ne sont pas les premiers à être mis en évidence. La notion de durabilité dans le temps est également très présente dans les définitions des répondants, alors qu'elle concerne des éléments plus difficiles à mesurer, tels que la résilience et la flexibilité des espaces.

De nouvelles thématiques sont révélées lorsque nous questionnons les concepteurs sur leur perception de la durabilité sociale. Les notions d'accessibilité et de bien-être des usagers ont été plus développées par les répondants dans cette partie des entretiens et constituent deux des éléments de réponse principaux. La durabilité économique est également souvent citée, alors qu'elle n'apparaissait pas dans la définition de l'architecture durable. La sphère économique semble très importante aux yeux des concepteurs quand nous abordons le sujet de la durabilité sociale. Elle est d'ailleurs le sujet qui est le plus mis en relation avec les autres éléments, ce qui lui confère une place centrale dans la définition de la durabilité sociale selon les concepteurs. Les autres éléments nouveaux qui ressortent lorsque l'on demande aux concepteurs d'approfondir la question de la durabilité sociale sont les relations humaines, l'harmonie et la sobriété. Notons toutefois que ces éléments n'étaient pas du tout apparus lorsque nous avons questionné les concepteurs sur l'architecture durable. Le fait que de nouveaux éléments apparaissent ou soient approfondis lors de cette question renforce l'idée que la durabilité sociale n'est pas inconnue des concepteurs, mais qu'elle n'est que peu associée par eux au concept de durabilité.

Nous avons également observé dans nos entretiens que les concepteurs pouvaient éprouver de la difficulté à définir ce qu'est la durabilité sociale dans un contexte d'architecture durable. Le fait qu'il leur soit difficile de verbaliser une définition claire de la durabilité sociale, ajouté au fait que cette définition soit en réalité systématiquement relative au contexte comme nous l'avons démontré dans le chapitre 2, peut expliquer la raison de la présence minoritaire des éléments liés à la durabilité sociale dans les définitions théoriques et perçues de l'architecture durable. Les enjeux sociaux sont, malgré tout, pris en compte dans leur définition de l'architecture durable. Ils sont approfondis lorsque les répondants sont interrogés sur la durabilité sociale en particulier. Mais ces éléments ne sont pas proposés de manière spontanées par les répondants. Cela corrobore l'hypothèse selon laquelle la durabilité sociale a tendance à être traitée à travers des caractéristiques dépendantes des autres piliers de la durabilité. Il semble également qu'il n'y ait pas de consensus sur une approche globale et orchestrée de la durabilité sociale dans la communauté des concepteurs.

## Les usages BIM au service de la durabilité sociale

Lorsque nous avons confronté les approches BIM aux enjeux de la durabilité, nous avons observé que ces derniers pouvaient être traités avec les processus BIM, notamment via le concept de Green BIM. Cependant, nous avons constaté à nouveau que les enjeux sociaux étaient très peu représentés dans ces approches. Les enjeux sociaux ont la particularité d'être exprimables sous deux catégories : des caractéristiques dépendantes des deux autres piliers, mesurables et quantifiables, et des caractéristiques indépendantes des autres piliers, plus abstraites et plus difficiles à mesurer. Or, les processus BIM sont efficaces surtout quand il s'agit de traiter des informations transformables en données mesurables, qu'il est possible d'optimiser de manière concrète. On peut donc légitimement se questionner sur la capacité du BIM à traiter de manière complète les enjeux de durabilité sociale. D'autant plus que la collaboration et la communication sont essentiels dans le processus BIM, ce qui en fait un outil naturellement social, dans lequel les interactions et les échanges entre utilisateurs sont au cœur des process.

Après avoir étudié les différents enjeux liés à la fois à la durabilité sociale dans un contexte de projet architectural, et à la fois aux pratiques BIM dans le contexte d'une profession en transition, nous avons pu identifier six catégories d'usages BIM qui présentaient un intérêt pour la durabilité sociale des projets. Ces catégories, tirées d'une méta analyse de Ruben Santos et al. (Santos et al., 2019) et d'une étude de Tamer El-Diraby et al. (El-Diraby et al., 2017) sont la sécurité, le confort des usagers, les processus d'apprentissage pour les étudiants et professionnels de la construction, le patrimoine culturel, la communication avec les usagers et la communication entre les acteurs du projet. Nous les avons synthétisés dans un tableau, en reprenant, pour chacune de ces catégories d'usages, des propositions concrètes d'utilisation du BIM issues des deux études mentionnées ci-dessus. Cette synthèse nous démontre qu'il est possible d'utiliser le BIM pour répondre à des enjeux sociaux. Ces propositions ont été complétées par les apports des personnes interrogées lors de nos entretiens. Ces apports n'ont pas permis de dégager de catégories d'usages supplémentaires à celles que nous avons identifiées dans notre recherche.

A partir de notre analyse, nous avons identifié des attentes formulées par les concepteurs quant à l'emploi du BIM pour la durabilité sociale, ainsi que des freins et des conditions. On observe que parmi les six catégories d'usages, celle de la sécurité se distingue des autres. En effet, c'est la catégorie pour laquelle nous avons recensé le plus d'usages, mais c'est également celle qui a suscité le plus de nouveaux usages auprès des répondants. La sécurité se prête bien à l'emploi des usages BIM, puisqu'il s'agit d'un domaine réglementé, régi par des normes tant en phase chantier qu'en phase d'exploitation. Il s'agit d'ailleurs d'un usage présent dans le guide des usages BIM de l'Université de Harvard (Harvard University, 2013). Une autre catégorie qui se distingue est celle du patrimoine culturel. En effet, cette catégorie a suscité moins de réaction de la part des répondants, certains refusant même de répondre. Cela peut s'expliquer par le fait qu'aucun des répondants ne présentait un profil d'expert en patrimoine culturel, même si plusieurs d'entre eux avaient déjà eu l'occasion de collaborer autour d'un projet à valeur patrimoniale. Malgré tout, ce secteur représente un domaine à part entière dans la construction, et fait appel à des compétences spécifiques. Nous avons cependant relevé une exception : le sujet des nouvelles technologies a été très souvent mis en lien avec la thématique du patrimoine, beaucoup plus que cela n'a été fait pour les autres thématiques. Par ailleurs, le rôle des technologies numériques a été spontanément abordé par plusieurs répondants. Même si la catégorie du patrimoine se distingue, toutes les catégories d'usages ont été mises en relation avec au moins une technologie numérique, avec un focus sur le patrimoine, la sécurité et le confort des usagers. Ces technologies ont été abordées sous l'angle de

trois types d'usages : communiquer des informations, connecter le bâtiment et assister le concepteur. Il semble donc que ces technologies représentent pour les concepteurs un potentiel prometteur pour l'avenir du bâtiment, notamment en ce qui concerne la thématique de la durabilité sociale.

A propos des freins et des conditions, nous avons remarqué que plusieurs éléments abordés par les répondants semblaient liés à l'adoption du BIM de manière générale, et pas spécifiquement à l'adoption du BIM dans un contexte de durabilité sociale. Nous pourrions imaginer que cela pourrait être lié à la difficulté que les répondants ont eue à se projeter dans le concept de la durabilité sociale, difficulté que nous avons constatée dans la première partie de l'enquête. Cependant, nous ne pensons pas que cette difficulté ait joué un rôle à cette étape. Nous avons proposé une liste d'usages aux répondants, et leurs réponses sont constituées des réactions qu'ils ont eues à propos de ces usages. Nous n'avons pas demandé aux répondants de se positionner sur le caractère social des usages que nous leur proposons. Leur perception de ce qu'est la durabilité sociale ne devrait donc pas interférer pour cette partie. Nous formulons une autre hypothèse pour tenter d'apporter une réponse à ce phénomène. Nous faisons un lien entre cette observation et la maturité numérique du secteur de la construction (Hochscheid, 2021) que nous avons abordée dans le chapitre 1. En effet, si les freins liés à l'adoption du BIM sont encore très présents en Belgique et en France, ils peuvent représenter un obstacle majeur dans la capacité des concepteurs à se projeter vers un emploi du BIM, en particulier pour une pratique considérée comme secondaire, telle que la durabilité sociale. Ces freins, liés à la maturité numérique au sein des processus de conception, devront être surmontés pour pouvoir ensuite prendre en compte les enjeux de durabilité sociale. Les freins liés à l'adoption du BIM, que nous avons identifiés lors de l'analyse des entretiens, sont le poids des données, la survente du BIM, la multiplicité des outils, la maturité numérique du secteur, l'augmentation de la charge de travail, l'investissement financier et la rentabilité. Ces derniers sont plus souvent abordés par les répondants et mis en lien avec plus de thématiques que les autres freins proposés par les répondants. Parmi ces autres freins, nous avons relevé la maturité écologique du secteur, l'implication des citoyens, la subjectivité de la sensation de confort et le sentiment de perte d'autonomie du concepteur. Nous avons également relevé des freins liés à la formation des acteurs et à l'accès à la technologie, qui sont en lien avec l'adoption du BIM mais représentent aussi une composante sociale. Les conditions d'utilisation du BIM identifiées par les répondants concernent en grande majorité la catégorie de la communication entre les acteurs du projet.

## **Limites de la recherche**

### **Récolter la parole des concepteurs**

Au cours de cette enquête, le frein principal que nous avons rencontré est la difficulté de rentrer en contact avec des profils de concepteur qui sont à la fois experts du BIM et de la durabilité. Premièrement, les profils présentant ces deux expertises sont relativement peu fréquents. Deuxièmement, les acteurs contactés n'ont pas toujours souhaité répondre positivement à notre demande. En effet, sur 40 personnes contactées, deux ont cessé de répondre au cours du processus de prise de contact, deux ont décliné la proposition d'interview et vingt-cinq n'ont pas répondu à la prise de contact.

Trouver suffisamment de profils à interroger pour atteindre la saturation des informations a donc été le frein principal rencontré lors de cette enquête. Nous ne disposions pas d'une base de données recensant le type d'acteurs que nous recherchions. Pour surmonter ce frein nous avons donc recherché des acteurs soit à travers le réseau professionnel d'acteurs rencontrés au cours du processus de thèse, soit par recherche sur les réseaux sociaux professionnels (Linkedin). Cependant, afin de ne pas initier de biais dans les réponses des acteurs interviewés, nous avons pris soin d'interroger uniquement des acteurs que nous ne connaissions pas personnellement.

Cette difficulté à trouver des profils correspondant à notre recherche constitue une limite car elle a réduit le nombre d'entretiens que nous avons effectués à 11. Néanmoins, nous avons pris soin de vérifier que les informations que nous avons récoltées arrivaient à saturation. Ayant adopté une posture constructiviste, la saturation est signe d'enrichissement des informations.

## **Choisir la bonne méthodologie d'enquête**

Un second frein est né de cette difficulté à réunir des témoignages issus des profils recherchés. Nous avons initialement prévu d'employer la méthode EBAHIE, (Ecoute des Besoins et Attentes et leur Hiérarchisation), développée au sein du laboratoire DeVisu par Sylvie Leleu-Merviel (Leleu-Merviel, 2008). Cette méthode a pour objectif de définir les attentes des usagers en utilisant à la fois des entretiens qualitatifs et des enquêtes quantitatives. Nous avons fait ce choix car, aux prémices de notre recherche, nous souhaitions mesurer les attentes des concepteurs quant à l'emploi du BIM dans les démarches de constructions socialement durables.

Toutefois, au vu des difficultés à réunir les profils ciblés, nous avons dû tenir compte de la réalité du terrain. Cela nous a amené à restructurer notre travail. L'intérêt numérique et durable du secteur de la construction n'est pas encore suffisamment généralisé pour envisager de mettre en place une enquête quantitative sur une pratique marginale, qu'est celle du traitement de la durabilité sociale via les processus BIM. Cette question ne peut être adressée qu'à un public de précurseurs, ces derniers étant plus enclins à être capables de se projeter dans un usage qui pourrait ne pas encore être concret dans les pratiques actuelles. Or, ces derniers sont encore minoritaires, puisque seulement 12% des agences françaises utilisent des logiciels BIM au niveau 2, c'est-à-dire en utilisant un processus de collaboration basé sur des échanges de maquettes numériques (Hochscheid & Halin, 2020b). Il aurait donc été très contraignant de récolter un nombre de répondants suffisant pour satisfaire aux conditions d'une enquête quantitative fructueuse.

Pour cette raison, nous avons restructuré le travail autour du concept d'étude des usages. Dans ce contexte, le recours à des enquêtes quantitatives n'était plus requis et nous nous sommes donc tournés vers la méthode de l'entretien semi-directif pour récolter des témoignages sur l'acceptation sociale des acteurs de la conception quant à l'emploi du BIM dans un contexte de construction socialement durable. Ces entretiens complètent et sont construits sur base de l'étude de l'utilité de ces usages réalisée dans le chapitre 4. Ce frein a en réalité été très enrichissant, car il nous a poussé à creuser plus loin dans notre étude du phénomène de la durabilité sociale, en réorientant le travail vers le domaine de l'étude des usages. Cet événement a été à l'origine d'une restructuration complète du travail, ce qui a permis de clarifier le sens de la recherche et ses objectifs.

## **Maturité numérique du secteur**

Nous avons évoqué au cours de notre travail que le BIM pouvait ne pas encore être suffisamment mature pour traiter les approches multidisciplinaires, y compris les approches durables. Nous évoquons dans la section 2.3.4 les différentes raisons qui rendent le BIM potentiellement inadéquat au traitement des informations durables dans son état actuel, l'une des principales raisons étant représentée par les difficultés amenées par le manque d'interopérabilité entre les outils de simulations énergétiques et les outils BIM (Gupta et al., 2014). Les résultats obtenus lors de nos entretiens ont confirmé ce fait.

Comme nous l'avons mentionné dans la section précédente, cette troisième limite vient aussi du manque de maturité du secteur de la construction en ce qui concerne l'implémentation du BIM. En effet, l'adoption de la technologie BIM n'est actuellement pas ancrée à un niveau avancé (Hochscheid, 2021; Stals, 2020a). Par conséquent, les acteurs interrogés ont parfois rencontré des difficultés à se défaire des problématiques liées à l'implémentation du BIM, qui sont encore présentes dans leur quotidien. Certains de nos résultats, notamment en ce qui concerne les freins identifiés par les concepteurs, semblent concerner l'adoption du BIM de manière générale, et ne pas être spécifiques aux usages BIM pour la durabilité sociale. Pour dépasser cette limite, il pourrait être intéressant de mener cette enquête dans un pays où la culture BIM est encore mieux adoptée par les concepteurs. Une autre piste serait de réaliser une seconde enquête comparative dans quelques années, puisque les tendances que nous avons décrites dans le chapitre de contextualisation montrent que le BIM sera de plus en plus encouragé par les états.

## **Actualisation des études couvrant la période 2018-2023**

Enfin, nous devons mentionner que la synthèse des usages BIM pour la durabilité sociale est majoritairement inspirée des travaux menés par Santos et al. sur les interactions entre BIM et durabilité dans la littérature scientifique. Ces travaux représentent une analyse de plus de 2000 publications scientifiques, pour aboutir à la prise en compte de 317 études qui ont porté sur la durabilité des pratiques BIM. Cependant, l'étude de Santos et al. étant parue en 2019, les travaux pris en compte lors du processus d'analyse couvrent une période allant de 2008 à 2017. Par conséquent, les travaux plus récents n'ont pas été pris en compte lors de l'élaboration de nos tableaux de synthèse et dans nos entretiens. Nous avons abordé, dans la discussion du chapitre 7, des éléments qui pourraient être intégrés dans une nouvelle analyse si cette enquête devait être reconduite auprès d'un autre public.

## **Perspectives de la recherche**

Les répondants ont démontré une attente forte envers l'utilisabilité des processus et des technologies liées au BIM. Étudier l'utilisabilité d'une technologie est la troisième approche à prendre en compte dans l'étude des usages, en parallèle des concepts d'utilité et d'acceptation sociale (Terrade et al., 2010). L'étude de l'utilisabilité correspond à l'étude des éléments qui rendent une technologie facile à manipuler, à exploiter. Cette maniabilité dépend, entre autres, de l'alignement des objectifs du concepteur et de ceux de l'utilisateur (Spool, 1999). Nous avons vu que la transition numérique a donné lieu à l'utilisation de nouveaux outils, or ces outils numériques auront beau être très utiles, leur appropriation peut se heurter à certains freins, voire être un échec. Manque de compétences, manque d'envie, manque de matériel performant, ... Plusieurs raisons sont évoquées

à ce phénomène (Tricot et al., 2003). L'utilisabilité doit donc être appréhendée au même titre que l'utilité et l'acceptation sociale pour pouvoir prétendre à établir des conditions de déploiement d'une technologie.

Jakob Nielsen propose une méthode d'évaluation de l'utilisabilité à travers quatre approches. La première est une approche automatique, dans laquelle la mesure de l'utilisabilité est réalisée par un programme externe. La deuxième approche est empirique, et confronte l'interface à des utilisateurs réels. La troisième est une approche formelle, c'est-à-dire qu'elle utilise des modèles et des formules pour obtenir une valeur de mesure concrète et précise. Et la quatrième est informelle, car elle est basée sur des règles empiriques, mesurées à travers l'expérience et les compétences des évaluateurs. Les méthodes les plus efficaces sont informelles et empiriques (Nielsen, 1994). Par conséquent, évaluer l'utilisabilité nécessitera d'axer les recherches sur l'observation des comportements des utilisateurs lors de la réalisation de tâches via la technologie étudiée, à l'aide d'entretiens menés à la suite de ces manipulations.

Cela implique que pour évaluer l'utilisabilité des usages BIM dans le cadre de l'amélioration des enjeux de durabilité sociale dans la construction, il sera nécessaire de mener une ou plusieurs expériences. Ces dernières devront tester, auprès des concepteurs, les usages BIM que nous avons identifiés au cours de ce travail, et ce dans le cadre d'entretiens qualitatifs répétés et réalisés sur un long terme. Cette approche permettrait des perspectives d'évolution et d'approfondissement des résultats de notre recherche. L'analyse de l'utilisabilité des processus BIM dans un contexte d'enjeux sociaux pourrait permettre de parachever notre recherche, en complétant les conditions de déploiement requises pour cette utilisation du BIM.

Notre démarche visait à étudier l'acceptation des usages BIM pour la durabilité sociale au sein de la communauté des concepteurs. C'est pour cela que nous n'avons interrogé que des personnes ayant un profil de concepteur. Néanmoins, pour se positionner dans une démarche sociale complète, il serait très intéressant et cohérent d'interroger également d'autres acteurs du projet sur ces usages, tels que les usagers, les ouvriers ou les entrepreneurs. Nous avons d'ailleurs relevé que ces derniers étaient souvent désignés par les concepteurs comme étant mieux placés pour répondre à certaines de nos questions, en particulier en ce qui concerne la thématique de la sécurité. Etendre les profils de notre étude constitue donc une autre perspective à explorer.

# TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 - DÉCOMPOSITION PAR PRODUIT DE L'EMPREINTE CARBONE DE LA FRANCE EN 2018 (JANIN & BLIVET, 2020).....	16
FIGURE 2 - PREMIÈRES REPRÉSENTATIONS DE LA TERRE, PRISES PAR SATELLITES DE 1966 À 1967 (NASA, 2020) .....	23
FIGURE 3 - CHRONOLOGIE DES PRINCIPAUX TRAITÉS ET DÉCLARATIONS LIÉS À LA POLITIQUE INTERNATIONALE DE L'ENVIRONNEMENT (MORIN ET AL., 2015) .....	25
FIGURE 4 - PRINCIPALES CONFÉRENCES INTERNATIONALES LIÉES À LA TRANSITION DURABLE DE LA SOCIÉTÉ .....	27
FIGURE 5 - COURBE D'ADOPTION DE L'INNOVATION, RÉINTERPRÉTATION DE (HOVAV & SCHUFF, 2005) SUR BASE DES TRAVAUX DE (ROGERS, 1995) .....	31
FIGURE 6 - « CAPSULE HOMES, TOWER AND CAPSULE ELEVATIONS, PLANS AND DETAILS » PRODUIT PAR WARREN CHALK POUR LE COLLECTIF ARCHIGRAM (CHALK, 1964).....	33
FIGURE 7 - MANIPULATION DU LOGICIEL DE DESSIN SKETCHPAD (SUTHERLAND, 1964) .....	37
FIGURE 8 - A GAUCHE, LA MAQUETTE EN BOIS ET MÉTAL DU PROJET THE FISH PAR FRANK GEHRY, À DROITE LE MODÈLE NUMÉRIQUE RÉALISÉ AVEC CATIA (ROCKER, 2008) .....	38
FIGURE 9 - ILLUSTRATION DES CONCEPTS DE DAO ET CAO VUE PAR LE CONCEPTEUR.....	45
FIGURE 10 - ILLUSTRATION DE L'ÉTENDUE DE LA PHASE DE CONCEPTION DANS LE DAO, ET LA CAO 1ERE ET 2EME GÉNÉRATION, VUE PAR LE CONCEPTEUR.....	45
FIGURE 11 - LE DÉPASSEMENT DES LIMITES PLANÉTAIRES (RICHARDSON ET AL., 2023).....	51
FIGURE 12 - PROGRÈS DANS LE MONDE POUR CHAQUE ODD DEPUIS 2015 EN POINTS DE POURCENTAGE (SACHS ET AL., 2021) .....	52
FIGURE 13 - LES TROIS DIMENSIONS DE LA DURABILITÉ ET LEURS OBJECTIFS POUR LES BÂTIMENTS D'APRÈS (KOHLE, 1999) .....	55
FIGURE 14 - HIÉRARCHISATION DES TYPES DE CONFORT (VISCHER, 2008) .....	56
FIGURE 15 - LES DIX AXES DE LA CERTIFICATION WELL, EXTRAIT DU SITE INTERNET WELLCERTIFIED.COM (INTERNATIONAL WELL BUILDING INSTITUTE, 2023).....	58
FIGURE 16 - CYCLE DE VIE DES BÂTIMENTS (LIU ET AL., 2015).....	60
FIGURE 17 - ANALYSE INTÉGRALE DU CYCLE DE VIE DES PONTS (GERVASIO, 2010) .....	61
FIGURE 18 - CARACTÉRISTIQUES DÉPENDANTES ET INDÉPENDANTES DE LA DURABILITÉ SOCIALE (ANDRÉ ET AL., 2022).....	64
FIGURE 19 - LES TROIS VOILETS DE LA DURABILITÉ SOCIALE (VALLANCE ET AL., 2011) .....	66
FIGURE 20 - LA DURABILITÉ SOCIALE : PRINCIPES ET MOTS-CLÉS (SHIRAZI & KEIVANI, 2017) .....	68
FIGURE 21 - STRUCTURE ANALYTIQUE DU MODÈLE MCSA (DOĞU & ARAS, 2019).....	73
FIGURE 22 - INDICATEURS DE MESURE DE LA DURABILITÉ SOCIALE D'UN QUARTIER (BERKELEY GROUP, 2013) .....	74
FIGURE 23 - LES DIFFÉRENTS MODES DE CONCEPTION (BEN RAJEB, 2011) .....	82
FIGURE 24 - NIVEAUX DE MATURITÉ DES PRATIQUES CAO (HOCHSCHEID, 2021) D'APRÈS (BOTON & KUBICKI, 2014; SUCCAR, 2010) .....	83
FIGURE 25 - MODÈLE D'ACCEPTABILITÉ SELON NIELSEN (NIELSEN, 1993), REPRÉSENTÉ PAR (KAASINEN, 2005).....	91
FIGURE 26 - LES OBJECTIFS DES USAGES BIM (KREIDER & MESSNER, 2013) .....	94
FIGURE 27 - PROCESSUS DE TRAVAIL UTILISÉ POUR LA MÉTA-ANALYSE À L'ORIGINE DU CONCEPT DE GREEN BIM TRIANGLE (LU ET AL., 2017) .....	98
FIGURE 28 - GREEN BIM TRIANGLE (LU ET AL., 2017).....	99
FIGURE 29 - LE CYCLE DE VIE DES PROJETS DURABLES, SOUTENU PAR LES PROCESSUS BIM (LU ET AL., 2017) .....	101
FIGURE 30 - UTILISATION D'UN MODÈLE BIM POUR VISUALISER LES DANGERS POTENTIELS SUR SITE (AZHAR, 2017) .....	106
FIGURE 31 - INTERFACE UTILISATEUR ET VISUALISATION DES RISQUES ET DES CONDITIONS SUR SITE (K. KIM ET AL., 2016) .....	107
FIGURE 32 - COMPARAISON DE LA LOCALISATION EN TEMPS RÉEL DANS LA MAQUETTE BIM ET DE LA LOCALISATION PAR VIDÉO-SURVEILLANCE (FANG ET AL., 2016).....	107
FIGURE 33 - HIÉRARCHIE DES BESOINS SELON LA PYRAMIDE DE MASLOW (GATEAU ET AL., 2016).....	109
FIGURE 34 - SIMULATION DE L'ENSOLEILLEMENT DES PIÈCES À PARTIR DE REVIT INSIGHT (MONTIEL-SANTIAGO ET AL., 2020).....	110
FIGURE 35 - SIMULATION DE L'ENSOLEILLEMENT SELON LE JOUR ET L'HEURE PAR CLIMATE STUDIO (SOLEMNA, 2023).....	111
FIGURE 36 - ILLUSTRATION DES MÉTHODES D'APPRENTISSAGE DES STRUCTURES À TRAVERS A : SCHÉMAS EN DEUX DIMENSIONS, B : PHOTOS, MAQUETTES PHYSIQUES ET C : MAQUETTES NUMÉRIQUES (CLEVENGER ET AL., 2012) .....	114



FIGURE 37 - EXEMPLE D'ÉVOLUTION DANS LE NIVEAU DE DÉTAIL DE LA REPRÉSENTATION NUMÉRIQUE, DE LA MAQUETTE REVIT AU MODÈLE D'ANALYSE STRUCTURELLE – CAS DE L'ÉGLISE SANTISSIMO NOME DI MARIA, ITALIE (BIAGINI ET AL., 2016) .....	117
FIGURE 38 - MODÉLISATION DE L'IMPACT DU QUARTIER SUR LE CRITÈRE « CHANGEMENT CLIMATIQUE » POUR DEUX SCENARII DIFFÉRENTS, SELON UNE ÉTUDE MENÉE PAR (MAILHAC ET AL., 2016).....	122
FIGURE 39 - SCHÉMA RÉCAPITULATIF DE LA CONSTRUCTION D'UN PROTOCOLE (MORILLON, 2008) .....	129
FIGURE 40 - DÉROULEMENT DE LA RECHERCHE .....	131
FIGURE 41 - DÉROULEMENT D'UN ENTRETIEN .....	134
FIGURE 42 - GRILLE D'ANALYSE INITIALE.....	135
FIGURE 43 - GRILLE D'ANALYSE .....	136
FIGURE 44 - ANCRAGE DANS LES PRATIQUES - THÉMATIQUE DE LA SÉCURITÉ – USAGES IDENTIFIÉS LORS DE L'ÉTUDE DES USAGES .....	137
FIGURE 45 - ANCRAGE DANS LES PRATIQUES - THÉMATIQUE DE LA SÉCURITÉ – USAGES IDENTIFIÉS PAR LES RÉPONDANTS.....	138
FIGURE 46 - PROCESSUS D'ANALYSE DES PROPOS RÉCOLTÉS LORS DES ENTRETIENS.....	141
FIGURE 47 - PREMIÈRE ÉTAPE DU PROCESSUS D'ANALYSE DES ENTRETIENS .....	141
FIGURE 48 - APERÇU DU LOGICIEL SONAL.....	142
FIGURE 49 - DEUXIÈME ÉTAPE DU PROCESSUS D'ANALYSE DES ENTRETIENS.....	143
FIGURE 50 - EXTRAIT DU LOGICIEL TAGUETTE .....	144
FIGURE 51 - TROISIÈME ÉTAPE DU PROCESSUS D'ANALYSE DES ENTRETIENS .....	145
FIGURE 52 - EXTRAIT DU LOGICIEL MAXQDA.....	145
FIGURE 53 - SCHÉMA DU PROCESSUS DE CONDUITE ET D'ANALYSE DES ENTRETIENS.....	146
FIGURE 54 - EXEMPLE D'UNE CARTE CONCEPTUELLE PRODUITE DANS LE CADRE DE L'ANALYSE DE NOS ENTRETIENS .....	147
FIGURE 55 - NOMBRE DE NOUVEAUX CODES PAR RÉPONDANT .....	148
FIGURE 56 - LÉGENDE DES SCHÉMAS CONCEPTUELS - ENQUÊTE PARTIE 1 .....	154
FIGURE 57 - CARTE CONCEPTUELLE DES ITEMS EN LIEN AVEC LA THÉMATIQUE DES MATÉRIAUX .....	156
FIGURE 58 - CARTE CONCEPTUELLE DES ITEMS EN LIEN AVEC LA THÉMATIQUE DE LA DURABILITÉ DANS LE TEMPS.....	158
FIGURE 59 - CARTE CONCEPTUELLE DES LIENS ENTRE LE CONCEPT DES MATÉRIAUX, DE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE ET DE LA DURABILITÉ DANS LE TEMPS .....	158
FIGURE 60 - CARTE CONCEPTUELLE DES ITEMS EN LIEN AVEC LA THÉMATIQUE DE L'ÉNERGIE.....	159
FIGURE 61 - CARTE CONCEPTUELLE DES ITEMS EN LIEN AVEC LA THÉMATIQUE DE LA RELATION AU CONTEXTE .....	160
FIGURE 62 - CARTE CONCEPTUELLE DES ITEMS EN LIEN AVEC LA THÉMATIQUE DE L'INNOVATION.....	161
FIGURE 63 - CARTE CONCEPTUELLE DES ITEMS EN LIEN AVEC LA DURABILITÉ ÉCOLOGIQUE ET LA DURABILITÉ DANS LE TEMPS CHOISIS PAR LES RÉPONDANTS POUR DÉFINIR L'ARCHITECTURE DURABLE.....	162
FIGURE 64 - CARTE CONCEPTUELLE DES ITEMS EN LIEN AVEC LA THÉMATIQUE DU BIEN-ÊTRE DES USAGERS .....	163
FIGURE 65 - CARTE CONCEPTUELLE DES ITEMS EN LIEN AVEC LA THÉMATIQUE DE L'ACCESSIBILITÉ .....	163
FIGURE 66 - CARTE CONCEPTUELLE DES ITEMS EN LIEN AVEC LA THÉMATIQUE DE LA DURABILITÉ SOCIALE .....	164
FIGURE 67 - CARTE CONCEPTUELLE DES ITEMS CITÉS PAR LES RÉPONDANTS POUR DÉFINIR L'ARCHITECTURE DURABLE .....	166
FIGURE 68 - CARTE CONCEPTUELLE DE L'INTERACTION ENTRE LE BIM ET LA DURABILITÉ PERÇUE PAR LES CONCEPTEURS, ITEMS EN LIEN AVEC LA THÉMATIQUE DES MATÉRIAUX.....	168
FIGURE 69 - CARTE CONCEPTUELLE DE L'INTERACTION ENTRE LE BIM ET LA DURABILITÉ PERÇUE PAR LES CONCEPTEURS, ITEMS EN LIEN AVEC LA THÉMATIQUE DE L'ÉNERGIE .....	169
FIGURE 70 - CARTE CONCEPTUELLE DE L'INTERACTION ENTRE LE BIM ET LA DURABILITÉ PERÇUE PAR LES CONCEPTEURS, ITEMS EN LIEN AVEC LA THÉMATIQUE DE LA DURABILITÉ DANS LE TEMPS .....	171
FIGURE 71 - CARTE CONCEPTUELLE DE L'INTERACTION ENTRE LE BIM ET LA DURABILITÉ PERÇUE PAR LES CONCEPTEURS, ITEMS EN LIEN AVEC LA THÉMATIQUE DE LA DURABILITÉ ÉCOLOGIQUE, ÉCONOMIQUE ET LA DURABILITÉ DANS LE TEMPS .....	173
FIGURE 72 - CARTE CONCEPTUELLE DE L'INTERACTION ENTRE LE BIM ET LA DURABILITÉ PERÇUE PAR LES CONCEPTEURS, ITEMS EN LIEN AVEC LA THÉMATIQUE DE LA DURABILITÉ SOCIALE .....	175
FIGURE 73 - CARTE CONCEPTUELLE DE L'INTERACTION ENTRE LE BIM ET LA DURABILITÉ PERÇUE PAR LES CONCEPTEURS, ITEMS EN LIEN AVEC LA THÉMATIQUE DE LA DURABILITÉ .....	177
FIGURE 74 -CARTE CONCEPTUELLE DE LA DÉFINITION DE LA DURABILITÉ SOCIALE PERÇUE PAR LES CONCEPTEURS, ITEMS EN LIEN AVEC LA THÉMATIQUE DES MATÉRIAUX.....	182

FIGURE 75 - CARTE CONCEPTUELLE DE LA DÉFINITION DE LA DURABILITÉ SOCIALE PERÇUE PAR LES CONCEPTEURS, ITEMS EN LIEN AVEC LA THÉMATIQUE DE L'ÉNERGIE .....	183
FIGURE 76 - CARTE CONCEPTUELLE DE LA DÉFINITION DE LA DURABILITÉ SOCIALE PERÇUE PAR LES CONCEPTEURS .....	184
FIGURE 77 - EVOLUTION DU GUIDE D'ENTRETIEN .....	192
FIGURE 78 - LÉGENDE DES SCHÉMAS CONCEPTUELS - ENQUÊTE PARTIE 2 .....	195
FIGURE 79 - CARTE CONCEPTUELLE EN RÉSEAU DES ATTENTES DES CONCEPTEURS INTERROGÉS - UTILISABILITÉ .....	199
FIGURE 80 - CARTE CONCEPTUELLE EN RÉSEAU DES ATTENTES DES CONCEPTEURS INTERROGÉS – CONFORT DES USAGERS.....	203
FIGURE 81 - CARTE CONCEPTUELLE EN RÉSEAU DES ATTENTES DES CONCEPTEURS INTERROGÉS – COMMUNICATION ENTRE LES ACTEURS .....	205
FIGURE 82 - CARTE CONCEPTUELLE EN RÉSEAU DES ATTENTES DES CONCEPTEURS INTERROGÉS – SÉCURITÉ.....	206
FIGURE 83 - CARTE CONCEPTUELLE EN RÉSEAU DES ATTENTES DES CONCEPTEURS INTERROGÉS – COMMUNICATION AVEC LES USAGERS .....	207
FIGURE 84 - CARTE CONCEPTUELLE DU RÉSEAU DES ATTENTES IDENTIFIÉES PAR LES CONCEPTEURS QUANT À L'EMPLOI DU BIM DANS UN CONTEXTE DE PROJET SOCIALEMENT DURABLE .....	208
FIGURE 85 - ATTENTES LIÉES AUX USAGES BIM, CLASSÉES PAR PHASES.....	210
FIGURE 86 - CARTE CONCEPTUELLE EN RÉSEAU DES FREIN IDENTIFIÉS PAR LES CONCEPTEURS INTERROGÉS – MATURITÉ NUMÉRIQUE DU SECTEUR DE LA CONSTRUCTION ET FORMATION DES ACTEURS .....	214
FIGURE 87 - CARTE CONCEPTUELLE DU RÉSEAU DE FREINS IDENTIFIÉS PAR LES CONCEPTEURS QUANT À L'EMPLOI DU BIM DANS UN CONTEXTE DE PROJET SOCIALEMENT DURABLE – INVESTISSEMENT FINANCIER ET AUGMENTATION DE LA CHARGE DE TRAVAIL.....	215
FIGURE 88 - CARTE CONCEPTUELLE DU RÉSEAU DE FREINS IDENTIFIÉS PAR LES CONCEPTEURS QUANT À L'EMPLOI DU BIM DANS UN CONTEXTE DE PROJET SOCIALEMENT DURABLE – ACCÈS À LA TECHNOLOGIE .....	217
FIGURE 89 - CARTE CONCEPTUELLE DU RÉSEAU DE FREINS IDENTIFIÉS PAR LES CONCEPTEURS QUANT À L'EMPLOI DU BIM DANS UN CONTEXTE DE PROJET SOCIALEMENT DURABLE – POIDS DES DONNÉES .....	218
FIGURE 90 - CARTE CONCEPTUELLE DU RÉSEAU DE FREINS IDENTIFIÉS PAR LES CONCEPTEURS QUANT À L'EMPLOI DU BIM DANS UN CONTEXTE DE PROJET SOCIALEMENT DURABLE – MULTIPLICITÉ DES OUTILS.....	220
FIGURE 91 - CARTE CONCEPTUELLE DU RÉSEAU DE FREINS IDENTIFIÉS PAR LES CONCEPTEURS QUANT À L'EMPLOI DU BIM DANS UN CONTEXTE DE PROJET SOCIALEMENT DURABLE .....	222
FIGURE 92 - RÉPARTITION DES FREINS LIÉS AUX USAGES BIM POUR LA DURABILITÉ SOCIALE .....	226
FIGURE 93 - CARTE CONCEPTUELLE DU RÉSEAU DES CONDITIONS IDENTIFIÉES PAR LES CONCEPTEURS QUANT À L'EMPLOI DU BIM DANS UN CONTEXTE DE PROJET SOCIALEMENT DURABLE – ÉCHELLE DES PROJETS.....	229
FIGURE 94 - CARTE CONCEPTUELLE DU RÉSEAU DES CONDITIONS IDENTIFIÉES PAR LES CONCEPTEURS QUANT À L'EMPLOI DU BIM DANS UN CONTEXTE DE PROJET SOCIALEMENT DURABLE – MOYENS MATÉRIELS, FINANCIERS ET HUMAINS, PRÉVISION DES USAGES, MAINTENANCE DE LA MAQUETTE, PRÉSENCE DU MODÈLE.....	232
FIGURE 95 - CARTE CONCEPTUELLE DU RÉSEAU DES CONDITIONS IDENTIFIÉES PAR LES CONCEPTEURS QUANT À L'EMPLOI DU BIM DANS UN CONTEXTE DE PROJET SOCIALEMENT DURABLE – CONFIANCE EN LA DONNÉE.....	234
FIGURE 96 - CARTE CONCEPTUELLE DU RÉSEAU DES CONDITIONS IDENTIFIÉES PAR LES CONCEPTEURS QUANT À L'EMPLOI DU BIM DANS UN CONTEXTE DE PROJET SOCIALEMENT DURABLE – INTEROPÉRABILITÉ, TRAVAIL COLLECTIF, UNIFORMISER LES DONNÉES, VOLONTÉ DU MAÎTRE D'OUVRAGE .....	236
FIGURE 97 - TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES - COMMUNIQUER.....	244
FIGURE 98 - TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES - CONNECTER .....	246
FIGURE 99 - TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES - ASSISTER .....	248
FIGURE 100 - RÔLE DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES DANS LES USAGES BIM SELON LES CONCEPTEURS.....	249

# TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 - CONCEPTS RELATIFS À LA DURABILITÉ .....	29
TABLEAU 2 - SÉQUENCES DE LA THÉORIE DE L'ACTEUR-RÉSEAU, SELON (LAMINE ET AL. P.161).....	32
TABLEAU 3 - LES TROIS PREMIÈRES PHASES AYANT MENÉ À L'UTILISATION DU NUMÉRIQUE DANS LES BUREAUX D'ARCHITECTURE SELON L'ANALYSE D'ANTOINE PICON.....	36
TABLEAU 4 - AVANTAGES DES LOGICIELS DE DAO POUR LES CONCEPTEURS, SYNTHÈSE DE L'ANALYSE DE ANNE TOURPE.....	38
TABLEAU 5 - LE BÂTIMENT DURABLE SELON PAOLA SASSI : COMMUNAUTÉ, SANTÉ ET BIEN-ÊTRE (SASSI, 2006).....	56
TABLEAU 6 - CONCEPTS RELATIFS À L'ARCHITECTURE DURABLE.....	57
TABLEAU 7 - CONCEPTS RELATIFS À LA DURABILITÉ SOCIALE.....	69
TABLEAU 8 - LES ASPECTS DE LA DURABILITÉ SOCIALE DANS UN CONTEXTE URBAIN (WEINGAERTNER & MOBERG, 2014), TRADUCTION PAR L'AUTEUR.....	70
TABLEAU 9 - FACTEURS CONTRIBUANT À LA DURABILITÉ SOCIALE URBAINE (DEMPSEY ET AL., 2009).....	71
TABLEAU 10 - CLASSEMENT DE CERTAINS ASPECTS DU CRITÈRE « ACCESSIBILITÉ » SELON LEUR CARACTÈRE DÉPENDANT, INDÉPENDANT, TANGIBLE OU INTANGIBLE.....	74
TABLEAU 11 - CARACTÉRISTIQUES ET ATTRIBUTS DES BÂTIMENTS LIÉS AUX EXPÉRIENCES ET AUX BESOINS DE BIEN-ÊTRE DANS LES BÂTIMENTS (HEERWAGEN, 2006), TRADUITS PAR L'AUTEUR.....	76
TABLEAU 12 - CONCEPTS RELATIFS À LA DURABILITÉ SOCIALE EN ARCHITECTURE.....	77
TABLEAU 13 - CONCEPTS UTILISÉS POUR CLASSER LES USAGES BIM.....	96
TABLEAU 14 - DESCRIPTION DES PHASES D'ANALYSE DE LA RECHERCHE MENÉE PAR (SANTOS ET AL., 2018).....	104
TABLEAU 15 - USAGES BIM POUR LE CRITÈRE DE LA SÉCURITÉ.....	108
TABLEAU 16 - USAGES BIM POUR LE CRITÈRE DU CONFORT DES USAGERS.....	112
TABLEAU 17 - USAGES BIM POUR LE CRITÈRE DE L'APPRENTISSAGE.....	115
TABLEAU 18 - USAGES BIM POUR LE CRITÈRE DU PATRIMOINE CULTUREL.....	118
TABLEAU 19 - USAGES BIM POUR LE CRITÈRE DE LA COMMUNICATION ENTRE LES ACTEURS DU PROJET.....	121
TABLEAU 20 - USAGES BIM POUR LE CRITÈRE DE LA COMMUNICATION AVEC LES USAGERS.....	124
TABLEAU 21 - SYNTHÈSE DES RÔLES DU BIM DANS LES CRITÈRES DE DURABILITÉ SOCIALE, PRODUCTION DE L'AUTEUR RÉALISÉE SUR BASE DES RECHERCHES DE (SANTOS ET AL., 2019) ET DE (EL-DIRABY ET AL., 2017).....	126
TABLEAU 22 - GRILLE D'ANALYSE COMPLÉMENTAIRE.....	136
TABLEAU 23 - CATÉGORIES APPLIQUÉES DANS SONAL ET LEURS CONTENUS.....	142
TABLEAU 24 - PROFILS DES RÉPONDANTS DE L'ENQUÊTE PARTIE 1.....	151
TABLEAU 25 - THÈMES ABORDÉS PAR LES RÉPONDANTS, CLASSÉS PAR ORDRE DÉCROISSANT D'IMPORTANCE.....	165
TABLEAU 26 - THÈMES ABORDÉS PAR LES RÉPONDANTS PAR ORDRE DÉCROISSANT D'IMPORTANCE – INTÉGRATION DE LA DS.....	166
TABLEAU 27 - PROFILS DES RÉPONDANTS DE L'ENQUÊTE PARTIE 2.....	191
TABLEAU 28 - USAGES BIM IDENTIFIÉS PAR LES RÉPONDANTS LORS DES ENTRETIENS MENÉS PAR LA DOCTORANTE.....	194
TABLEAU 29 - APERÇU DES CONCEPTS IDENTIFIÉS DANS L'ANALYSE DES ATTENTES DES CONCEPTEURS QUANT À L'EMPLOI DU BIM DANS UN CONTEXTE DE CONSTRUCTION SOCIALEMENT DURABLE.....	197
TABLEAU 30 - RÉPARTITION DES ATTENTES PAR THÉMATIQUE D'USAGE.....	209
TABLEAU 31 - APERÇU DES CONCEPTS IDENTIFIÉS DANS L'ANALYSE DES FREINS QUANT À L'EMPLOI DU BIM DANS UN CONTEXTE DE CONSTRUCTION SOCIALEMENT DURABLE.....	211
TABLEAU 32 - RÉPARTITION DES FREINS PAR THÉMATIQUE D'USAGE.....	224
TABLEAU 33 - APERÇU DES CONCEPTS IDENTIFIÉS DANS L'ANALYSE DES CONDITIONS IDENTIFIÉES PAR LES CONCEPTEURS QUANT À L'EMPLOI DU BIM DANS UN CONTEXTE DE CONSTRUCTION SOCIALEMENT DURABLE.....	227
TABLEAU 34 - RÉPARTITION DES CONDITIONS PAR THÉMATIQUE D'USAGE.....	237
TABLEAU 35 - LISTE DES CODES EN LIEN AVEC LES NOUVELLES TECHNOLOGIES.....	239
TABLEAU 36 - RÉPARTITION DES CONCEPTS LIÉS AUX TECHNOLOGIES NUMÉRIQUE PAR THÉMATIQUE D'USAGE.....	241
TABLEAU 37 - VERBATIMS ILLUSTRANT LES THÈMES POUR LESQUELS LES CONCEPTEURS NE SE SENTENT PAS RESPONSABLES.....	250

## BIBLIOGRAPHIE

Abdelrahman, M. M., Chong, A., & Miller, C. (2022). Personal thermal comfort models using digital twins: Preference prediction with BIM-extracted spatial-temporal proximity data from Build2Vec. *Building and Environment*, 207, 108532. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108532>

Abisuga, O., Wang, C., & Kamardeen, I. (2019). Towards Conceptualization of SocioBIM-based Post-occupancy Evaluation Framework for Learning Spaces. In P. Wu & X. Wang, *Innovative Production and Construction* (p. 17-38). WORLD SCIENTIFIC. [https://doi.org/10.1142/9789813272491\\_0002](https://doi.org/10.1142/9789813272491_0002)

Abrassart, C. (2011). *La naissance de l'éco-conception : Acteurs, raisonnements, enjeux de pilotage et horizons d'une rationalisation industrielle (1990-2010)* [Phdthesis, École Nationale Supérieure des Mines de Paris]. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00712974>

Adam, M. (2017). Concevoir l'urbain durable. De l'injonction généralisée aux réalisations standardisées, les concepteurs face à la normativité économique et technique. *RIURBA. Revue Internationale d'Urbanisme*, 3.

ADEME. (2018, août 10). *La réglementation thermique*. ADEME. <https://www.ademe.fr/expertises/batiment/elements-contexte/politiques-vigueur/reglementation-thermique>

ADEME. (2020). *Bienvenue sur Base Impacts de l'ADEME*. Base Impacts. <https://base-impacts.ademe.fr/>

ADEME. (2023). *Présentation*. Base Empreinte. <https://base-empreinte.ademe.fr/aide/decouverte>

Ahmed, S. (2018). Barriers to Implementation of Building Information Modeling (BIM) to the Construction Industry: A Review. *Journal of Civil Engineering and Construction*, 7(2), 107. <https://doi.org/10.32732/jcec.2018.7.2.107>

Aissani, A. (2016). *Optimisation fiabiliste des performances énergétiques des bâtiments* [Université Blaise Pascal]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01344610>

Akrich, M., Callon, M., & Latour, B. (Éds.). (2006). *Sociologie de la traduction : Textes fondateurs*. Presses des Mines. <https://doi.org/10.4000/books.pressesmines.1181>

Aldebert, B., & Rouzies, A. (2015). Quelle place pour les méthodes mixtes dans la recherche francophone en management ? *Management international*, 19(1), 43-60. <https://doi.org/10.7202/1028489ar>

Amadiou, F., Mulet, J., Van Der Linden, J., Lombard, J., & Van De Leemput, C. (2019). Acceptabilité des technologies d'apprentissage mobile: Le cas des tablettes: *Éducation Permanente*, N° 219(2), 31-40. <https://doi.org/10.3917/edpe.219.0031>

Amin, A. (2006). The Good City. *Urban Studies*, 43(5-6), 1009-1023. <https://doi.org/10.1080/00420980600676717>

Andonova, Y. (2009). Usage, mésusage et non-utilisation des TIC : repenser la fracture numérique en entreprise. In *Fractures, mutations, fragmentations. De la diversité des cultures numériques* (Lavoisier, p. 95-111).

André, E., Boulekbache, H., & Gallas, M.-A. (2020). Le BIM peut-il être un agent facilitant les démarches de développement durable dans la construction ? *SHS Web of Conferences*, 82, 02005. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20208202005>

André, E., Boulekbache, H., & Gallas, M.-A. (2022). *Durabilité sociale des pratiques BIM pour les concepteurs—Focus sur les méthodes d'apprentissage dans les écoles d'architecture*. 10<sup>è</sup> Séminaire de Conception Architecturale Numérique (SCAN'22), Lyon. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202214708002>

Arantes, L., Marry, S., Baverel, O., & Quenard, D. (2016). Efficacité énergétique et formes urbaines : Élaboration d'un outil d'optimisation morpho-énergétique. *Cybergeo*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.27584>

Aubin-Auger, I., Mercier, A., Baumann, L., Lehr-Drylewicz, A.-M., Imbert, P., Letrillart, L., & GROUM-F. (2008). Introduction à la recherche qualitative. *Exercer, la revue française de médecine générale*, 19(84), 142-145.

Autodesk. (2003). *Building information modeling in practice* (p. 6). <http://thecadshop.com/products/docs/autodesk-revit-6-building-information-modeling.pdf>

Autodesk. (2021). *Processus BIM: Remettre l'architecte au centre du projet*. <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/pdfs/ebook-processus-BIM-remettre-larchitecte-au-centre-du-projet.pdf>

Azhar, S. (2017). Role of Visualization Technologies in Safety Planning and Management at Construction Jobsites. *Procedia Engineering*, 171, 215-226. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.329>

Aznal, C., & Barry, H. (2017). Maquette numérique et compréhension réciproque dans le logement social. *Communication et organisation*, 52, 201-216. <https://doi.org/10.4000/communicationorganisation.5762>

Ballet, J., Dubois, J.-L., & Mahieu, F.-R. (2012). La soutenabilité sociale du développement durable : De l'omission à l'émergence. *Mondes en développement*, n°156(4), 89-110. <https://doi.org/10.3917/med.156.0089>

Barbault, R. (2022). Halte à la croissance ?, Club de Rome. In *Encyclopaedia Universalis [en ligne]*. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/halte-a-la-croissance/>

Ben Rajeb, S. (2011, décembre 9). Collaboration, coopération ou participation ? *DNArchi*. <https://dnarchi.fr/analyses/collaboration-cooperation-ou-participation/>

Benkedadra, M., Mancas, M., & Mahmoudi, S. A. (2023). Feedback Driven Multi Stereo Vision System for Real-Time Event Analysis. *Proceedings of the 2023 ACM International Conference on Interactive Media Experiences*, 230-236. <https://doi.org/10.1145/3573381.3597220>

Bennis, A. (2015). *Contribution à la reconstruction 3D de bâtiments à partir de nuage de points de scanner laser terrestre*. Université de Lorraine.

Benoit Norris, C., Parent, J., Kuenzi, I., & Reveret, J.-P. (2007). *Developing a methodology for social life cycle assessment : The North American tomato's CSR case*. 3rd International Conference on Life Cycle Management, Zurich.

Benoit Norris, C., Traverso, M., Neugebauer, S., Ekener, E., Schaubroeck, T., Garrido Russo, S., Berger, M., Valdivia, S., Lehmann, A., Finkbeiner, M., & Arcese, G. (2020). *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations*. United Nations Environment Programme.

Berkeley Group. (2013). *Living at Kidbrooke Village*.

Bertolinelli, M., Pinti, L., & Bonelli, S. (2022). Social Environmental Profitability Index (SEPI) and BIM to Support Decision-Making Processes in Public Green Infrastructure Investments. In F. Calabrò, L. Della Spina, & M. J. Piñeira Mantiñán (Éds.), *New Metropolitan Perspectives* (Vol. 482, p. 1977-1989). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-06825-6\\_190](https://doi.org/10.1007/978-3-031-06825-6_190)

Biagini, C., Capone, P., Donato, V., & Facchini, N. (2016). Towards the BIM implementation for historical building restoration sites. *Automation in Construction*, 71, 74-86. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.003>

Bianchini, C., & Nicastro, S. (2018). From BIM to H-BIM. *2018 3rd Digital Heritage International Congress (DigitalHERITAGE) held jointly with 2018 24th International Conference on Virtual Systems & Multimedia (VSMM 2018)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2018.8810087>

Bijl, A., Akin, O., Chen, C.-C., Dave, B., Pithavadian, S., Kalay, Y. E., Harfmann, A. C., Swerdloff, L. M., Krishnamurti, R., Schmitt, G., Robert, J.-C., Weeks, J., Flemming, U., Coyne, R., Glavin, T., Rychener, M., Koskela, L., Hynynen, R., Kallavuo, M., ... Suzuki, S. (1986). *CAD and Robotics in Architecture and Construction*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-7404-6>

Billon, R., & Rocca, F.-X. (1983). *Comprendre KEOPS : Logiciel de conception assistee par ordinateur en architecture*. III.19-III.35. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.1983.x.s9f>

Blanchet, A., & Gotman, A. (2017). *L'entretien* (2e éd., nouv. prés., suite du tirage). A. Colin.

Blaufarb, R. (2018). La Révolution armée, la révolution victorieuse : Comprendre la conquête de l'indépendance de l'amérique latine. *Annales historiques de la révolution française*, 3, 175-193.

Bobillier-Chaumon, M.-É., & Dubois, M. (2009). L'adoption des technologies en situation professionnelle : Quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation? : *Le travail humain*, Vol. 72(4), 355-382. <https://doi.org/10.3917/th.724.0355>

Boivin, H., & Potvin, A. (2011). Le bâtiment comme lieu d'innovation transdisciplinaire. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)*. <https://doi.org/10.24908/pceea.v0i0.3982>

Boton, C., & Forgues, D. (2019). Comprendre l'impact du numérique sur la gestion de projet en construction. *Lien social et Politiques*, 81, 41-60. <https://doi.org/10.7202/1056303ar>

Boton, C., & Kubicki, S. (2014). Maturité des pratiques BIM : Dimensions de modélisation, pratiques collaboratives et technologies. *SCAN'14, 6ème Séminaire de Conception Architecturale Numérique*, 45-56. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01025675>

Botrugno, M., Malagnino, A., Lazoi, M., & Mangia, M. (2022). Building Information Modelling Supporting Safety and Security Threats Management : A Literature Review. In O. Canciglieri Junior, F. Noël, L. Rivest, & A. Bouras (Éds.), *Product Lifecycle Management. Green and Blue Technologies*

to Support Smart and Sustainable Organizations (Vol. 640, p. 171-184). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-94399-8\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-94399-8_13)

Boudokhane-Lima, F., & Felio, C. (2015). Les usages professionnels des TIC : Des régulations à construire. *Communication et organisation*, 48, 139-150. <https://doi.org/10.4000/communicationorganisation.5105>

Boulanger, C., Safin, S., & Decortis, F. (2005). Le papier dans les environnements virtuels pour l'architecture : Quels supports pour un traitement digital de l'information? *Actes de SCAN'05 : Séminaire de conception architecturale numérique*. SCAN'05 : Séminaire de conception architecturale numérique, Paris.

Bourbonnais, S. (2014). *Sensibilités technologiques : Expérimentations et explorations en architecture numérique 1987-2010* [Phdthesis, Université Paris-Est]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01143050>

Bourbonnais, S. (2017). Le « lâcher-prise » : Mutations numériques des gestes architecturaux. *Appareil*, 18. <https://doi.org/10.4000/appareil.2398>

Box, R. C. (2005). *Critical social theory in public administration*. M.E. Sharpe.

Braillard, P. (1982). *L'imposture du Club de Rome* (1re éd). Presses universitaires de France. <https://bit.ly/3lnoOSH>

Bressani, M., Carpo, M., Martin, R., Picon, A., & Vardouli, T. (2019). L'architecture à l'heure du numérique, des algorithmes au projet : Un débat entre Martin Bressani, Mario Carpo, Reinhold Martin et Theodora Vardouli, mené par Antoine Picon. *Perspective*, 2, 113-140. <https://doi.org/10.4000/perspective.14830>

Bronfenbrenner, U. (1996). *The ecology of human development : Experiments by nature and design*. Harvard University Press.

Brundtland, G. H. (1987). *Our common future*.

Bruxelles Environnement. (2021, décembre 22). *TOTEM, outil d'évaluation de l'impact des matériaux*. environnement.brussels. <https://environnement.brussels/pro/outils-et-donnees/sites-web-et-outils/totem-outil-devaluation-de-limpact-des-materiaux>

Callon, M., Akrich, M., Dubuisson-Quellier, S., Grandclément, C., Hennion, A., Latour, B., Mallard, A., Méadel, C., Muniesa, F., & Rabeharisoa, V. (2013). *Sociologie des agencements marchands. Textes choisis*. Presses des Mines.

Carpo, M. (Éd.). (2013). *The digital turn in architecture 1992-2012*. Wiley.

Carpo, M. (2017). *The second digital turn : Design beyond intelligence*. The MIT Press.

Carpo, M. (2018). *The Second Digital Turn : Talks at Google*. <https://www.youtube.com/watch?v=UVerq5DSdKU>

Carvalho, J. P., Bragança, L., & Mateus, R. (2020). A Systematic Review of the Role of BIM in Building Sustainability Assessment Methods. *Applied Sciences*, 10(13), 4444. <https://doi.org/10.3390/app10134444>

Chalk, W. (1964). *Capsules Homes, Tower and Capsule Elevations, plans and details* [The Sunday Times Colour Supplement]. <https://www.archigram.net/portfolio.html>

Channon, B. (2018). *Happy by design : A guide to architecture and mental wellbeing*. Riba Publishing.

Charef, R. (2022). The use of Building Information Modelling in the circular economy context : Several models and a new dimension of BIM (8D). *Cleaner Engineering and Technology*, 7, 100414. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100414>

Charef, R., Alaka, H., & Emmitt, S. (2018). Beyond the third dimension of BIM : A systematic review of literature and assessment of professional views. *Journal of Building Engineering*, 19, 242-257. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.028>

Charmaz, K. (2014). *Constructing grounded theory* (2nd edition). Sage.

Chaudet, B. (2020a). Culture sociotechnique et investissements de formes dans le secteur du bâtiment. L'exemple du BIM. *Communication et organisation*, 58, 55-68. <https://doi.org/10.4000/communicationorganisation.9327>

Chaudet, B. (2020b). Le BIM : Nouvelles formes de collaboration pour les acteurs du bâtiment ? *Interfaces numériques*, 8(3), Article 3. <https://doi.org/10.25965/interfaces-numeriques.3981>

Chaudet, B., Patrascu, M., & Bouillon, J.-L. (2016). La maquette numérique dans le secteur du bâtiment. *Revue française des sciences de l'information et de la communication*, 9. <https://doi.org/10.4000/rfsic.2044>

Chen, L.-C., Wu, C.-H., Shen, T.-S., & Chou, C.-C. (2014). The application of geometric network models and building information models in geospatial environments for fire-fighting simulations. *Computers, Environment and Urban Systems*, 45, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.01.003>

Chevret, A. (2015). *La croissance durable : La fin d'un paradoxe ?* <https://doi.org/10.13140/rg.2.1.1483.0560>

Clarke, A. E. (2005). *Situational analysis : Grounded theory after the postmodern turn*. Sage Publications.

Clayton, M. J. (2005). *How I Stopped Worrying and Learned to Love AutoCAD*. 94-103. <https://doi.org/10.52842/conf.acadia.2005.094>

Colantonio, A. (2009). *Social sustainability : A review and critique of traditional versus emerging themes and assessment methods*. 865-885. <https://eprints.lse.ac.uk/35867/>

Comité technique ISO/TC 207. (2006). *ISO 14040:2006 Management environnemental—Analyse du cycle de vie—Principes et cadre*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:fr>

Conférence des Nations Unies. (1972). *Déclaration de la conférence des Nations Unies sur l'environnement*.

Connellan, K., Gaardboe, M., Riggs, D., Due, C., Reinschmidt, A., & Mustillo, L. (2013). Stressed Spaces : Mental Health and Architecture. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 6(4), 127-168. <https://doi.org/10.1177/193758671300600408>



Corbin, J. M., & Strauss, A. L. (2015). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory* (Fourth edition). SAGE.

Costes, J.-P., Gay-Charpin, M.-H., Varlet, C., & Viale, J.-B. (2022). *Horizon et questionnements sur l'évaluation environnementale et sociale des propositions de matériaux naturels dans la construction contemporaine*. Nouveaux Matériaux et Durabilité 2022, Montpellier.

Cotte, M. (2009). Les techniques numériques et l'histoire des techniques. Le cas des maquettes virtuelles animées. *Documents pour l'histoire des techniques*, 18, 7-21. <https://doi.org/10.4000/dht.97>

Creswell, J. W. (2009). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (3rd ed). Sage Publications.

Cristia, É., Zalio, P.-P., & Guéna, F. (2018). Quand le BIM met la maquette à l'épreuve du numérique. *SHS Web of Conferences*, 47, 01007. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20184701007>

Cross, C. (2013). Le développement durable en traduction. *Traduire*, 229, 12-15. <https://doi.org/10.4000/traduire.577>

Dainty, A., Leiringer, R., Fernie, S., & Harty, C. (2017). BIM and the small construction firm: A critical perspective. *Building Research & Information*, 45(6), 696-709. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1293940>

Dannenbergh, A. L., & Burpee, H. (2018). Architecture for Health Is Not Just for Healthcare Architects. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 11(2), 8-12. <https://doi.org/10.1177/1937586718772955>

Dautremont, C., Dagnelie, C., & Jancart, S. (2018). Le BIM6D comme levier pour une architecture circulaire. *SHS Web of Conferences*, 47, 01005. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20184701005>

Dautremont, C., & Jancart, S. (2020). Expérimentation d'intégration des concepts de circularité en architecture grâce au BIM: modèle d'apprentissage par le jeu de rôle. *Actes de colloque - EduBIM*. EduBIM2020: 6ème édition des journées de l'enseignement et de la recherche sur la maquette numérique et le BIM en France, Anglet.

Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*, 35(8), 982-1003.

De Boissieu, A., Marques, S., Guerriero, A., Kubicki, S., & Ferries, B. (2016). Maturité et mesure du Retour Sur Investissement d'opérations BIM. BIMetric, une méthode d'évaluation. *Mètre et paramètre, mesure et démesure du projet*. Séminaire de Conception Architecturale Numérique, SCAN'16, Toulouse.

De Oliveira, A. C. F., Carmo, C. S. T. D., Cruz, A. S., & Faisca, R. G. (2021). A case study to explore the synergy between HBIM and BEM for maintenance of historical buildings. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-03-2021-0033>

Dempsey, N., Bramley, G., Power, S., & Brown, C. (2009). The social dimension of sustainable development: Defining urban social sustainability. *Sustainable Development*, 19(5), 289-300. <https://doi.org/10.1002/sd.417>

- Deshayes, P. (2012). Le secteur du bâtiment face aux enjeux du développement durable : Logiques d'innovation et/ou problématiques du changement. *Innovations*, n°37(1), 219-236.
- Desjeux, D., Alami, S., & Garabuau-Moussaoui, I. (2013). *Les méthodes qualitatives*: Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.alami.2013.01>
- Destombes, L. (2021). Building translation modeling. In *Anticrise architecturale. Analyse d'une discipline immergée dans un monde numérisé* (p. 223-236).
- Devlin, A. S., & Arneill, A. B. (2003). Health Care Environments and Patient Outcomes : A Review of the Literature. *Environment and Behavior*, 35(5), 665-694. <https://doi.org/10.1177/0013916503255102>
- Diemer, A. (2015, octobre 5). *Environnement et développement durable* [MOOC]. UVED. <https://www.uved.fr/fiche/ressource/environnement-et-developpement-durable>
- Dinet, J. (2010). Les environnements numériques sont-ils acceptables ? *Médiadoc*, 4, 16-19.
- Doğu, F. U., & Aras, L. (2019). Measuring Social Sustainability with the Developed MCSA Model : Güzelyurt Case. *Sustainability*, 11(9), 2503. <https://doi.org/10.3390/su11092503>
- Dong, R.-R. (2017). The Application of BIM Technology in Building Construction Quality Management and Talent Training. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(7). <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00860a>
- Dore, C., & Murphy, M. (2017). CURRENT STATE OF THE ART HISTORIC BUILDING INFORMATION MODELLING. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W5, 185-192. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-185-2017>
- Dreyer, L., Hauschild, M., & Schierbeck, J. (2006). A Framework for Social Life Cycle Impact Assessment (10 pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(2), 88-97. <https://doi.org/10.1065/lca2005.08.223>
- Du, J., Zhao, D., Issa, R. R. A., & Singh, N. (2020). BIM for Improved Project Communication Networks : Empirical Evidence from Email Logs. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 34(5), 04020027. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000912](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000912)
- Dubois, C., Avignon, M., & Escudier, P. (2014). *Observer la Terre depuis l'espace : Enjeux des données spatiales pour la société*. Dunod.
- Dubois, M., & Bobillier-Chaumon, M.-É. (2010). L'acceptabilité des technologies : Bilans et nouvelles perspectives: *Le travail humain*, Vol. 72(4), 305-310. <https://doi.org/10.3917/th.724.0305>
- Duchesne, S. (1996). Entretien non-préstructuré, stratégie de recherche et étude des représentations. Peut-on déjà faire l'économie de l'entretien «non-directif» en sociologie ? *Politix - Revue des sciences sociales du politique*, 189-206.
- Eames, C. et R. (1990). *A Computer perspective : Background to the computer age* (G. Fleck & International Business Machines Corporation, Éd.s.; New Edition). Harvard University Press.
- Eastman. (1975). The use of computers instead of drawings in building design. *AIA Journal*, 63(3), 46-50.

Eastman, C. (1976). General purpose building description systems. *Computer-Aided Design*, 8(1), 17-26. [https://doi.org/10.1016/0010-4485\(76\)90005-1](https://doi.org/10.1016/0010-4485(76)90005-1)

Eastman, C. M., Teicholz, P. M., Sacks, R., & Lee, G. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors* (Third edition). Wiley.

Edwards, R. E., Lou, E., Bataw, A., Kamaruzzaman, S. N., & Johnson, C. (2019). Sustainability-led design: Feasibility of incorporating whole-life cycle energy assessment into BIM for refurbishment projects. *Journal of Building Engineering*, 24, 100697. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.027>

El-Diraby, T., Krijnen, T., & Papagelis, M. (2017). BIM-based collaborative design and socio-technical analytics of green buildings. *Automation in Construction*, 82, 59-74. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.004>

Engelbart, D. (1962). *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework* (p. 135). Stanford Research Institute. <https://www.dougenelbart.org/content/view/138>

Entrop, A. G., & Brouwers, H. J. H. (2010). Assessing the sustainability of buildings using a framework of triad approaches. *Journal of Building Appraisal*, 5(4), 293-310. <https://doi.org/10.1057/jba.2009.36>

Eynon, J. (2016). *Construction manager's BIM handbook*. Wiley Blackwell.

Fang, Y., Cho, Y. K., Zhang, S., & Perez, E. (2016). Case Study of BIM and Cloud-Enabled Real-Time RFID Indoor Localization for Construction Management Applications. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(7), 05016003. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001125](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001125)

Fargnoli, M., & Lombardi, M. (2020). Building Information Modelling (BIM) to Enhance Occupational Safety in Construction Activities: Research Trends Emerging from One Decade of Studies. *Buildings*, 10(6), 98. <https://doi.org/10.3390/buildings10060098>

Friedman, M. S., Sorkin, M., & Frank O. Gehry and Associates (Éds.). (1999). *Gehry talks: Architecture + process*. Rizzoli.

Gallas, M.-A., & Halin, G. (2016). Une approche pédagogique par les modèles pour la sensibilisation au concept de BIM (Maquette Numérique). *SCAN16: Mètre et paramètre, mesure et démesure du projet*.

Gallas, M.-A., Saura Lorente, G., & Godimus, E. (2023). A Data Workflow Approach for Pedagogical Sensitization to the BIM Concept. *Formal Methods in Architecture*, 359-373.

Gâteau, B. (2018). A smart IoT middleware for comfort management based on Multi-Agent-System. *Proceedings of the 8th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics*, 1-10. <https://doi.org/10.1145/3227609.3227683>

Gervasio, H. (2010). *Sustainable design and integral life-cycle analysis of bridges*. Université de Coimbra.

Gervásio, H., & da Silva, L. S. (2013). Life-cycle social analysis of motorway bridges. *Structure and Infrastructure Engineering*, 9(10), 1019-1039. <https://doi.org/10.1080/15732479.2011.654124>

- Gibon, C., & Tamoudi, C. (2017). BIM, maquette numérique et SIG. Retour d'expérience de Rennes Métropole. *Revue XYZ*, 151. file:///C:/Users/535058.UMONS/Downloads/article415109.pdf
- Giroux, N. (1994). La communication interne : Une définition en évolution. *Communication et organisation*, 5. <https://doi.org/10.4000/communicationorganisation.1696>
- Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (1967). *The discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research* (5. paperback print). Aldine Transaction.
- Göçer, Ö., Hua, Y., & Göçer, K. (2015). Completing the missing link in building design process : Enhancing post-occupancy evaluation method for effective feedback for building performance. *Building and Environment*, 89, 14-27. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.011>
- Goh, K. C., Goh, H. H., Toh, S. H., & Peniel Ang, S. E. (2014). Enhancing Communication in Construction Industry through BIM. *Proceedings of the 11th International Conference on Innovation & Management*. 11th International Conference on Innovation & Management, Wuhan.
- Golovina, O., Teizer, J., & Pradhananga, N. (2016). Heat map generation for predictive safety planning : Preventing struck-by and near miss interactions between workers-on-foot and construction equipment. *Automation in Construction*, 71, 99-115. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.008>
- Goretti, H. A., & Kaming, P. (2023). A review and bibliometric analysis of utilizing building information modeling (BIM) on effective operation and maintenance (O&M). *E3S Web of Conferences*, 429, 01002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342901002>
- Goulette, J.-P., & Pérez, P. (1987). *Intelligence artificielle et conception en architecture et bâtiment. Spécifications d'un poste de CAO en architecture utilisant des techniques des langages à objets*. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse - Laboratoire d'informatique appliquée à l'architecture (LI2A).
- Gournet, R., & Beslay, C. (2015). Les professionnels du bâtiment face aux enjeux de la performance énergétique : Nouveaux savoirs et nouveaux métiers. *SociologieS*. <http://journals.openedition.org/sociologies/5063>
- Green, A., & Dixon, J. (2016). Standing buildings and built heritage. *Post-Medieval Archaeology*, 50(1), 121-133. <https://doi.org/10.1080/00794236.2016.1169492>
- Griffin, A., & Hauser, J. R. (1993). The Voice of the Customer. *Marketing Science*, 12(1), 1-27. <https://doi.org/10.1287/mksc.12.1.1>
- Grimal, H. (1985). *La décolonisation de 1919 à nos jours* (Nouv. éd. rev. et mise à jour). Editions Complexe.
- Grover, R., & Froese, T. M. (2016). Knowledge Management in Construction Using a SocioBIM Platform : A Case Study of AYO Smart Home Project. *Procedia Engineering*, 145, 1283-1290. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.165>
- Grover, R., Li, P., & Froese, T. M. (2015). *The interface between building information models and the public*. <https://doi.org/10.14288/1.0076373>
- Guenther, R. (2009). Sustainable Architecture for Health : A Mindset Shift. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 2(4), 3-9. <https://doi.org/10.1177/193758670900200401>

- Guerrero, O. (2016). L'importance de nommer : Passerelles entre politique et psychanalyse. *La revue lacanienne*, 17(1), 165. <https://doi.org/10.3917/lrl.161.0165>
- Guillemette, F., & Luckerhoff, J. (2012). *Méthodologie de la théorisation enracinée : Fondements, procédures et usages*. Presses de l'Université du Québec.
- Guillerme, A., Lefort, A.-C., & Jigaudon, G. (2004). *Dangereux, insalubres et incommodes : Paysages industriels en banlieue parisienne, XIXe-XXe siècles*. Champ Vallon.
- Gupta, A., Cemesova, A., Hopfe, C. J., Rezgui, Y., & Sweet, T. (2014). A conceptual framework to support solar PV simulation using an open-BIM data exchange standard. *Automation in Construction*, 37, 166-181. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.005>
- Gurevich, U., Sacks, R., & Shrestha, P. (2017). BIM adoption by public facility agencies : Impacts on occupant value. *Building Research & Information*, 45(6), 610-630. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1289029>
- Habibi, S. (2017). The promise of BIM for improving building performance. *Energy and Buildings*, 153, 525-548. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.009>
- Haiech, J. (2020). Parcourir l'histoire de l'intelligence artificielle, pour mieux la définir et la comprendre. *médecine/sciences*, 36(10), 919-923. <https://doi.org/10.1051/medsci/2020145>
- Hamman, P. (2014). Repenser la ville à l'heure des injonctions au développement durable. *Questions de communication*, 25, 81-101. <https://doi.org/10.4000/questionsdecommunication.8952>
- Harvard University. (2013). *Getting started with BIM - BIM Uses guide*. University Construction Management Council. [https://home.planningoffice.harvard.edu/files/hppm/files/harvardbep\\_bim\\_uses.pdf](https://home.planningoffice.harvard.edu/files/hppm/files/harvardbep_bim_uses.pdf)
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. H. (2017). *The elements of statistical learning : Data mining, inference, and prediction* (Second edition, corrected at 12th printing 2017). Springer. <https://doi.org/10.1007/b94608>
- Heerwagen, J. (2006). *Investing in people : The social benefits of sustainable design*. 17. <https://www.cce.ufl.edu/wp-content/uploads/2012/08/Heerwagen.pdf>
- Hégron, G. (2003). De la modélisation à la conception assistée par ordinateur. *Annales des Ponts et Chaussées*, 2003(107-108), 19-26. [https://doi.org/10.1016/S0152-9668\(03\)80004-9](https://doi.org/10.1016/S0152-9668(03)80004-9)
- Hochscheid, E. (2021). *Diffusion, adoption et implémentation du BIM dans les agences d'architecture en France*. Université de Lorraine.
- Hochscheid, E., & Halin, G. (2020a). Les agences d'architecture françaises à l'ère du BIM : Contradictions, pratiques, réactions et perspectives. *Les Cahiers de la recherche architecturale urbaine et paysagère*, 9|10, Article 9, 10. <https://doi.org/10.4000/craup.6201>
- Hochscheid, E., & Halin, G. (2020b, janvier 31). *Le BIM dans les agences d'architecture*. Ordre des architectes. <https://www.architectes.org/le-bim-dans-les-agences-d-architecture>
- Hondelatte, J., & Goulet, P. (2002). *Jacques Hondelatte : Des gratte-ciel dans la tête*. Norma Editions.
- Humboldt, A. von, & Bonpland, A. (1807). *Essai sur la Géographie des plantes*.

International WELL Building Institute. (2023). *WELL Certification—The healthy building difference*. wellcertified.com. <https://www.wellcertified.com/certification/v2/>

IPPC. (2022). *Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change*.

Isikdag, U., Underwood, J., & Aouad, G. (2008). An investigation into the applicability of building information models in geospatial environment in support of site selection and fire response management processes. *Advanced Engineering Informatics*, 22(4), 504-519. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2008.06.001>

Janin, L., & Blivet, C. (2020). *L'emprunte carbone des Français reste stable* (Commissariat général au développement durable, Éd.). <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2020-01/datalab-essentiel-204-l-empreinte-carbone-des-francais-reste-%20stable-janvier2020.pdf>

Jäväjä, P., Suwal, S., Porkka, J., Savisalo, A., & Kokko, P. (2012). Social Interaction in Urban Planning Projects. *Proceedings of the CIB W78 2012: 29th International Conference*. Conference of CIB W78, Beirut. <http://itc.scix.net/paper/w78-2012-Paper-39>

Johnson, R. B., Onwuegbuzie, A. J., & Turner, L. A. (2007). Toward a Definition of Mixed Methods Research. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(2), 112-133. <https://doi.org/10.1177/1558689806298224>

Jones, M., Rice, L., & Meraz, F. (Éds.). (2019). *Designing for health & wellbeing: Home, city, society*. Vernon Press.

Jordan-Palomar, I., Tzortzopoulos, P., García-Valdecabres, J., & Pellicer, E. (2018). Protocol to Manage Heritage-Building Interventions Using Heritage Building Information Modelling (HBIM). *Sustainability*, 10(4), 908. <https://doi.org/10.3390/su10040908>

Jutraž, A., Kukec, A., Otorepec, P., Lampic, L., Pohleven, J., Sandak, J., Malovrh, K., & Varkonji Sajn, M. (2019). Monitoring Environmental and Health Impact Data in BIM Models to Assure Healthy Living Environments. In *Data—BUILDING INFORMATION MODELLING* (Vol. 2).

Kaasinen, E. (2005). *User acceptance of mobile services: Value, ease of use, trust and ease of adoption*. VTT.

Kassem, M., & Succar, B. (2017). Macro BIM adoption: Comparative market analysis. *Automation in Construction*, 81, 286-299. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.04.005>

Kaufmann, J.-C., & Singly, F. de. (2016). *L'entretien compréhensif* (4e éd). Armand Colin.

Khainnar, S. (2018). Le BIM entre changement épisodique et changement continu-situé: Regard de l'étudiant en formation universitaire. *Revue française des sciences de l'information et de la communication*, 12, Article 12. <https://doi.org/10.4000/rfsic.3412>

Kim, K., Cho, Y., & Zhang, S. (2016). Integrating work sequences and temporary structures into safety planning: Automated scaffolding-related safety hazard identification and prevention in BIM. *Automation in Construction*, 70, 128-142. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.06.012>

Kim, K. P., & Park, K. S. (2016). Primary BIM dataset for refurbishing flood risk vulnerable housing in the UK. *Built Environment Project and Asset Management*, 6(4), 365-378. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-06-2015-0026>

Kohler, N. (1999). The relevance of Green Building Challenge : An observer's perspective. *Building Research & Information*, 27(4-5), 309-320. <https://doi.org/10.1080/096132199369426>

Koutamanis, A., Heuer, J., & Könings, K. D. (2017). A visual information tool for user participation during the lifecycle of school building design : BIM: KOUTAMANIS et al. *European Journal of Education*, 52(3), 295-305. <https://doi.org/10.1111/ejed.12226>

Kreider, R. G., & Messner, J. I. (2013). *The uses of BIM. Classifying and selecting BIM uses* (9; Computer integrated construction).

Krygiel, E., & Nies, B. (2008). *Green BIM: Successful sustainable design with building information modeling*. Wiley Pub.

Labelle, F., Navarro-Flores, O., & Pasquero, J. (2012). Choisir et tirer parti de la méthodologie de la théorisation enracinée. In *Méthodologie de la théorisation enracinée. Fondements, procédures et usages*. Presses de l'Université du Québec.

Labelle, S. (2001). « La société de l'information », à décrypter ! *Communication et langages*, 128(1), 65-79. <https://doi.org/10.3406/colan.2001.3075>

Lami, I. M., & Mecca, B. (2020). Assessing Social Sustainability for Achieving Sustainable Architecture. *Sustainability*, 13(1), 142. <https://doi.org/10.3390/su13010142>

Lamine, W., Fayolle, A., & Chebbi, H. (2015). Quel apport de la théorie de l'acteur-réseau pour appréhender la dynamique de construction du réseau entrepreneurial ? *Management international*, 19(1), 158-176. <https://doi.org/10.7202/1028496ar>

Langston, C. (2014). Measuring Good Architecture : Long life, loose fit, low energy. *European Journal of Sustainable Development*, 3(4), 163-174. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2014.v3n4p163>

Latiffi, A. A., Brahim, J., & Fathi, M. S. (2014). The Development of Building Information Modeling (BIM) Definition. *Applied Mechanics and Materials*, 567, 625-630. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.567.625>

Lavielle, J.-M., Faculté de droit et des sciences économiques de Limoges, & Centre de recherches interdisciplinaires en droit de l'environnement, de l'aménagement et de l'urbanisme (Éds.). (1999). *Conventions de protection de l'environnement: Secrétariats, conférences des parties, comités d'experts*. Presses universitaires de Limoges.

Le Coadic, Y.-F. (2004). *Usages et usagers de l'information* (Armand Colin).

Le Deuff, O. (2018). Usages et Usagers. In *La documentation dans le numérique* (Presses de l'enssib, p. 137-160).

Lejeune, C. (2017). Chapitre 9. Analyser les contenus, les discours ou les vécus ? À chaque méthode ses logiciels !: In *Les méthodes qualitatives en psychologie et sciences humaines de la santé* (p. 203-224). Dunod. <https://doi.org/10.3917/dunod.santi.2017.01.0203>

Lejeune, C. (2019). *Manuel d'analyse qualitative : Analyser sans compter ni classer* (2e éd). De Boeck.

Leleu-Merviel, S. (2008). *Objectiver l'humain ?* Hermès Science Publ.

Leleu-Merviel, S. (2019). *Séminaire de méthodologie de recherche* [Cours].

Leroy, J., Amdal, J., Vuillet, M., Cariolet, J.-M., Diab, Y., & Becue, V. (2016). Vulnerability and social resilience : Comparison of two neighborhoods in New Orleans after Hurricane Katrina. *E3S Web of Conferences*, 7, 08002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160708002>

Levan, S. K. (2016). *Management et collaboration BIM*. Eyrolles.

Licina, D., & Langer, S. (2021). Indoor air quality investigation before and after relocation to WELL-certified office buildings. *Building and Environment*, 204, 108182. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108182>

Licina, D., & Yildirim, S. (2021). Occupant satisfaction with indoor environmental quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and self-reported productivity before and after relocation into WELL-certified office buildings. *Building and Environment*, 204, 108183. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108183>

LIST. (2023). *GOLIATH - Goal Oriented Layered system for Inter-operable Activities of Things*. [https://www.list.lu/index.php?id=29&tx\\_listprojects\\_listprojectdisplay%5blistProjects%5d=118&cHash=9821d5223a704b2570b2170cc6f7e9d9&L=1](https://www.list.lu/index.php?id=29&tx_listprojects_listprojectdisplay%5blistProjects%5d=118&cHash=9821d5223a704b2570b2170cc6f7e9d9&L=1)

Liu, S., Meng, X., & Tam, C. (2015). Building information modeling based building design optimization for sustainability. *Energy and Buildings*, 105, 139-153. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.037>

Liu, S., Xie, B., Tivendal, L., & Liu, C. (2015). Critical Barriers to BIM Implementation in the AEC Industry. *International Journal of Marketing Studies*, 7(6), 162. <https://doi.org/10.5539/ijms.v7n6p162>

Longet, R. (2016). *Planète, sauvetage en cours : Une responsabilité collective*.

Lu, Y., Wu, Z., Chang, R., & Li, Y. (2017). Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions. *Automation in Construction*, 83, 134-148. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.024>

Luo, Y., & Wu, W. (2015). Sustainable Design with BIM Facilitation in Project-based Learning. *Procedia Engineering*, 118, 819-826. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.519>

Mailhac, A., Perez, N., Tournaire, O., Schiopu, N., Sibiude, G., Adolphe, L., & Bonhomme, M. (2016). *Articulation d'un logiciel de simulation énergétique et d'un logiciel d'ACV à l'échelle quartier, illustration à travers une étude de cas*. IBPSA (Conférence Francophone de l'International Building Performance Simulation Association), Marne-La-Vallée. <https://hal.insa-toulouse.fr/hal-02157301>

Majeed, M. N., Mustafa, F. A., & Husein, H. A. (2019). Impact of Building Typology on Daylight Optimization Using Building Information Modeling : Apartments in Erbil City as a Case Study. *Journal of Daylighting*, 6(2), 187-201. <https://doi.org/10.15627/jd.2019.17>

Maltese, S., Tagliabue, L. C., Cecconi, F. R., Pasini, D., Manfren, M., & Ciribini, A. L. C. (2017). Sustainability Assessment through Green BIM for Environmental, Social and Economic Efficiency. *Procedia Engineering*, 180, 520-530. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.211>

Marcos, C. L. (2017). BIM Implications in the Design Process and Project-Based Learning : Comprehensive Integration of BIM in Architecture. *BIM in Design, Construction and Operations*, 2, 113-125. <https://doi.org/10.2495/BIM170111>



Marzban, S., Candido, C., Avazpour, B., Mackey, M., Zhang, F., Engelen, L., & Tjondronegoro, D. (2023). The potential of high-performance workplaces for boosting worker productivity, health, and creativity : A comparison between WELL and non-WELL certified environments. *Building and Environment*, 243, 110708. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110708>

Matthews, N. A. (2008). *Aerial and Close-Range Photogrammetric Technology : Providing Resource Documentation, Interpretation, and Preservation* (Technical Note 428). U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, National Operations Center.

Maxwell, J. A. (2013). *Qualitative research design : An interactive approach* (3rd ed). SAGE Publications.

McCall, R., Vlahos, E., & Zabel, J. (2001). Conceptual Design as HyperSketching. In B. de Vries, J. van Leeuwen, & H. Achten (Éds.), *Computer Aided Architectural Design Futures 2001* (p. 285-297). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-010-0868-6\\_22](https://doi.org/10.1007/978-94-010-0868-6_22)

Meadati, P., & Irizarry, J. (2010). BIM - A knowledge repository. *Conference of the Associated Schools of Construction*, 46.

Meadows, D. H., Meadows, D., Randers, J., & Behrens, W. (1972). *The Limits to growth : A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind* (Club of Rome, Éd.). Universe Books. <https://www.clubofrome.org/publication/the-limits-to-growth/>

Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience : A review. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38-49. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>

Megahed, N. (2015). Towards a Theoretical Framework for HBIM Approach in Historic Preservation and Management. *International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR*, 9(3), 130. <https://doi.org/10.26687/archnet-ijar.v9i3.737>

Megahed, N. A., & Ghoneim, E. M. (2021). Indoor Air Quality : Rethinking rules of building design strategies in post-pandemic architecture. *Environmental Research*, 193, 110471. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110471>

Merton, R. K., Lowenthal, M. F., & Kendall, P. L. (1990). *The focused interview : A manual of problems and procedures* (2nd ed). Free Press ; Collier Macmillan.

Mesaros, P., Mandicak, T., & Spisakova, M. (2018, novembre 20). *Sustainability trough BIM technology in construction industry*. 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2018. <https://doi.org/10.5593/sgem2018V/6.4/S09.066>

Messaoudi, T., Véron, P., Halin, G., & De Luca, L. (2018). An ontological model for the reality-based 3D annotation of heritage building conservation state. *Journal of Cultural Heritage*, 29, 100-112. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.05.017>

Meyer, P. (2010). Les cartes conceptuelles : Un outil créatif en pédagogie. *Recherche en soins infirmiers*, 3(102), 35-41.

Michelat, G. (1975). Sur l'utilisation de l'entretien non directif en sociologie. *Revue Française de Sociologie*, 16(2), 229. <https://doi.org/10.2307/3321036>

Micolier, A. (2021). Un modèle couplé de transfert de masse et de chaleur pour évaluer l'impact des choix de conception sur la qualité de l'air intérieur. *Academic Journal of Civil Engineering*, 393-400 Pages. <https://doi.org/10.26168/AJCE.37.1.79>

Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2020). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (Fourth edition). SAGE.

Ministère de la transition écologique et solidaire. (2019, octobre 25). *Exigences réglementaires pour la construction des bâtiments*. Ministère de la Transition écologique et solidaire. <http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/exigences-reglementaires-construction-des-batiments>

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire. (2023). *Réglementation environnementale RE2020*. [ecologie.gouv.fr](https://www.ecologie.gouv.fr). <https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-environnementale-re2020>

Mohora, I. (2019). Importance of biophilic attributes in european coworking spaces. *Proceedings of INTCESS 2019*, 979-988.

Mokhtar, A. (2007). BIM as Learning Media for Building Construction. *Proceedings of the 12th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia*. CAADRIA 2007, Nanjing.

Montès, F., & Biasi, P.-M. de. (2000). Le calque et l'écran. « Genèse architecturale et nouveaux médias ». Entretien. *Genesis*, 14(1), 129-152. <https://doi.org/10.3406/item.2000.1141>

Montiel-Santiago, F. J., Hermoso-Orzáez, M. J., & Terrados-Cepeda, J. (2020). Sustainability and Energy Efficiency : BIM 6D. Study of the BIM Methodology Applied to Hospital Buildings. Value of Interior Lighting and Daylight in Energy Simulation. *Sustainability*, 12(14), 5731. <https://doi.org/10.3390/su12145731>

Moreau de Jonnés, A. (1825). *Premier mémoire en réponse à la question proposée par l'académie royale de Bruxelles : Quels sont les changements que peut occasionner le déboisement de forêts considérables sur les contrées et communes adjacentes, relativement à la température et à la salubrité de l'air, à la direction et à la violence des vents dominants, à l'abondance et à la localité des pluies d'où dérivent les sources et les eaux courantes, et en général à tout ce qui constitue son état physique actuel ?* (P.J. De Mat).

Morillon, L. (2008). Recueil et analyse des données en sciences humaines et sociales : Un panorama. In *Objectiver l'humain ?* (Lavoisier, Vol. 1).

Morin, J.-F., Orsini, A., & Jegen, M. (2015). *Politique internationale de l'environnement*. SciencesPo-les Presses. <https://www-cairn-info.ezproxy.uphf.fr/politique-internationale-de-l-environnement--9782724617450-page-21.htm>

Morse, J. M. (1995). The Significance of Saturation. *Qualitative Health Research*, 5(2), 147-149. <https://doi.org/10.1177/104973239500500201>

Mucchielli, A. (2009). *Dictionnaire des méthodes qualitatives en sciences humaines et sociales* (3e éd. mise à jour et augmentée). A. Colin.

Mucchielli, A. (2003). *La place du constructivisme pour l'étude des communications*.

Musarat, M. A., Sadiq, A., Alaloul, W. S., & Abdul Wahab, M. M. (2022). A Systematic Review on Enhancement in Quality of Life through Digitalization in the Construction Industry. *Sustainability*, 15(1), 202. <https://doi.org/10.3390/su15010202>

Mustaffa, N. E., Salleh, R. M., & Liyana Binti Tajul Ariffin, H. (2017). Experiences of Building Information Modelling (BIM) adoption in various countries. *2017 International Conference on*

*Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS)*, 1-7.  
<https://doi.org/10.1109/ICRIIS.2017.8002508>

NASA. (2020, décembre 21). *90 Years of Our Changing Views of Earth*. NASA History.  
<https://www.nasa.gov/feature/90-years-of-our-changing-views-of-earth>

Nations Unies. (2023). *Les ODD en action*. undp.org. <https://www.undp.org/fr/sustainable-development-goals>

Nguyen-Duy, V., & Luckerhoff, J. (2007). *Constructivisme/positivisme : Où en sommes-nous avec cette opposition?* 5, 4-17.

Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Academic Press.

Nielsen, J. (1994, avril 24). *Usability Inspection Methods*. Conference Companion - CHI 94, Boston.

OMS. (1976). *Programme de médecine du travail* (Vingt-neuvième assemblée mondiale de la santé).

OMS. (1978). *Evaluation des effets des substances chimiques sur la santé* (EB63/20).

OMS. (2022). *World Mental Health Report—Transforming Mental Health for All*. World Health Organization.

OpenAI. (2023). *Chat GPT*. <https://chat.openai.com>

Oreni, D., Brumana, R., Georgopoulos, A., & Cuca, B. (2013). HBIM for conservation and management of built heritage : Towards a library of vaults and wooden beam floors. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-5/W1, 215-221.  
<https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W1-215-2013>

Owen, C., & Dovey, K. (2008). Fields of sustainable architecture. *The Journal of Architecture*, 13(1), 9-21. <https://doi.org/10.1080/13602360701865373>

Paganelli, C. (2012). Analyse des discours sur la notion d'« usage » dans deux revues en sciences de l'information : Doc-SI et BBF: *Documentaliste-Sciences de l'Information*, Vol. 49(2), 64-71. <https://doi.org/10.3917/docsi.492.0064>

Paillé, P. (1996). De l'analyse qualitative en général et de l'analyse thématique en particulier. *Recherches qualitatives*, 15, 179-194.

Paillé, P. (2007). La recherche qualitative : Une méthodologie de la proximité. In H. Dorvil, *Problèmes sociaux : Tome III. Théories et méthodologies de la recherche* (1<sup>re</sup> éd.). Presses de l'Université du Québec. <https://doi.org/10.2307/j.ctv18pgtsn>

Pan, W., Qin, H., & Zhao, Y. (2017). Challenges for energy and carbon modeling of high-rise buildings : The case of public housing in Hong Kong. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 208-218. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.02.013>

Paquiénéguy, F. (2018). L'usage au fil des Tic. *Interfaces numériques*, 6(3). <https://doi.org/10.25965/interfaces-numeriques.2621>

Paraponaris, C. (2018, mai). *Vers une monopolisation de la conception industrielle. L'exemple de la market place de Dassault Systèmes*. 36ème colloque INFORMATIQUE des ORGANISATIONS et SYSTÈMES d'Information et de Décision, INFORSID, Nantes, France.

Parra, C., & Moulaert, F. (2011). La nature de la durabilité sociale : Vers une lecture socioculturelle du développement territorial durable. *Développement durable et territoires*, 2(2). <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.8970>

Parsamehr, M., Perera, U. S., Dodanwala, T. C., Perera, P., & Ruparathna, R. (2023). A review of construction management challenges and BIM-based solutions : Perspectives from the schedule, cost, quality, and safety management. *Asian Journal of Civil Engineering*, 24(1), 353-389. <https://doi.org/10.1007/s42107-022-00501-4>

Pastre, D. (2000). *L'intelligence artificielle : Définition—Généralités—Historique—Domaines*. Intelligence artificielle, Université Paris 5.

Perysinaki, A. (2012). Évolution des publications autour de l'architecture durable. *Les Cahiers de la recherche architecturale et urbaine*, 26/27, 66-75. <https://doi.org/10.4000/crau.544>

Petermans, A., & Pohlmeier, A. E. (2014). *Design for subjective well-being in interior architecture*. <https://doi.org/10.13140/2.1.1584.2241>

Petti, L., Serreli, M., & Di Cesare, S. (2018). Systematic literature review in social life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(3), 422-431. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1135-4>

Piaseckienė, G. (2022). Dimension of BIM in literature : Review and analysis. *Mokslas - Lietuvos ateitis*, 14(0), 1-11. <https://doi.org/10.3846/mla.2022.16071>

Picon, A. (2014). L'architecture saisie par le numérique : Théorie,. *Revue de l'Art*, 186, 83-89.

Pin, C. (2023). *L'entretien semi-directif* (Fiche méthodologique n°3). Laboratory for interdisciplinary evaluation of public policies.

Pirayesh Neghab, A., Etienne, A., Kleiner, M., & Roucoules, L. (2015). Performance evaluation of collaboration in the design process : Using interoperability measurement. *Computers in Industry*, 72, 14-26. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.03.011>

Polese, M., & Stren, R. (Éds.). (2000). *The Social Sustainability of Cities : Diversity and the Management of Change*. University of Toronto Press. <https://doi.org/10.3138/9781442682399>

Portzamparc, E. J. N. de, & Wieviorka, M. (2020). Une architecture de sociologue. *Socio*, 14, 135-166. <https://doi.org/10.4000/socio.10746>

Prévost, P., & Jacobi, D. (1994). Les cartes conceptuelles : Outil cognitif, instrument de communication ou moyen de recherche ? *Les cartes conceptuelles*, 5, 119-123.

Proulx, S., Vieira, L., & Pinède, N. (2005). Penser les usages des TIC aujourd'hui : Enjeux, modèles, tendances. In *Enjeux et usages des TIC : aspects sociaux et culturels* (Vol. 1, p. 7-20). Presses universitaires de Bordeaux.

Prudhomme, N. (2021). L'habitat, ses labellisations et ses certifications: *Constructif*, N° 59(2), 53-56. <https://doi.org/10.3917/const.059.0053>

PTNB. (2017). *Plan transition numérique dans le bâtiment: Rapport d'étape* (p. 67). <http://www.batiment-numerique.fr/uploads/DOC/Rapport%20%C3%A9tape/PTNB%20-%20Rapport%20d%20etape%20-%20Mars%202017.pdf>

Quentin, M., Henry, É., & Laudati, P. (2017). Prise en compte de l'occupant dans une démarche interdisciplinaire de réhabilitation durable : Focus sur la perception du confort thermique dans l'habitat social. *Développement durable et territoires*, Vol. 8, n°2. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.11744>

Quirk, V. (2012, décembre 7). *A Brief History of BIM*. ArchDaily. <http://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim/>

Rahhal, A., Ben Rajeb, S., & Leclercq, P. (2020). *Caractérisation de l'information dans une collaboration BIM*. EDUBIM - 6ème édition des journées de l'enseignement et de la recherche sur la maquette numérique et le BIM en France, Anglet, France. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/252491>

Rampin, R., & Rampin, V. (2021). Taguette : Open-source qualitative data analysis. *Journal of Open Source Software*, 6(68), 3522. <https://doi.org/10.21105/joss.03522>

Reychav, I., Maskil Leitan, R., & McHaney, R. (2017). Sociocultural sustainability in green building information modeling. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(9), 2245-2254. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1409-y>

Rice, L. (2020). Healthy BIM : The feasibility of integrating architecture health indicators using a building information model (BIM) computer system. *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research*, 15(1), 252-265. <https://doi.org/10.1108/ARCH-07-2020-0133>

Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., Von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., ... Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37), eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>

Rioufreyt, T. (2019). L'outil et la méthode. Des fonctionnalités techniques des CAQDAS à leurs usages méthodologiques. *Bulletin de méthodologie sociologique*, 143.

Rocker, I. M. (2008). *Architecture of the Digital Realm : Experimentations by Peter Eisenman, Frank O. Gehry*. <https://doi.org/10.25643/BAUHAUS-UNIVERSITAET.1332>

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sorlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., & Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity : Identifying and quantifying planetary boundaries that must not be transgressed could help prevent human activities from causing unacceptable environmental change, argue Johan Rockstrom and colleagues. *Nature*, 461(7263). <https://link.gale.com/apps/doc/A209404108/HRCA?u=anon~ef5fc4e1&sid=googleScholar&xid=c9839efc>

Rodhain, F., & Llana, C. (2006). Le mythe du développement durable. *Préventique Sécurité*, 85, 41-47.

Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of Innovations, 4th Edition*. Simon and Schuster. <https://books.google.be/books?id=v1ii4QsB7jIC&printsec=frontcover&hl=fr#v=onepage&q&f=false>

Rousseau, J.-J. (1817). *Les rêveries du promeneur solitaire*.

Ruegg, R., Petersen, S. R., & Marshall, H. E. (1980). *Recommended Practice for Measuring Life-cycle Costs of Buildings and Buildings Systems*.

Ruellan, G., & Attia, S. (2016). Les problématiques de la rénovation du stock bâti dans la ville de demain : Résultats d'une étude initiale en Belgique. *Academic Journal of Civil Engineering*, 34, 348-355. <https://doi.org/10.26168/AJCE.34.1.43>

Rüppel, U., & Schatz, K. (2011). Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations. *Advanced Engineering Informatics*, 25(4), 600-611. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.08.001>

Sachs, I. (1978). Ecodéveloppement : Une approche de planification. *Économie rurale*, 124(1), 16-22. <https://doi.org/10.3406/ecoru.1978.2551>

Sachs, J., Kroll, C., Lafortune, G., Fuller, G., & Woelm, F. (2021). *Sustainable Development Report 2021* (1<sup>re</sup> éd.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009106559>

Sagnier, C., Loup-Escande, É., & Valléry, G. (2019). Acceptabilité de la réalité virtuelle : Une revue de la littérature: *Le travail humain*, Vol. 82(3), 183-212. <https://doi.org/10.3917/th.823.0183>

Saka, A. B., & Chan, D. W. M. (2019). A global taxonomic review and analysis of the development of BIM research between 2006 and 2017. *Construction Innovation*, 19(3), 465-490. <https://doi.org/10.1108/CI-12-2018-0097>

Salgueiro, I. B., & Ferries, B. (2015). An “Environmental BIM” Approach for the Architectural Schematic Design Stage. *International Journal of Architectural Computing*, 13(3-4), 299-312. <https://doi.org/10.1260/1478-0771.13.3-4.299>

Sampaio, A. Z., & Gomes, A. M. (2021). BIM Interoperability Analyses in Structure Design. *CivilEng*, 2(1), 174-192. <https://doi.org/10.3390/civileng2010010>

Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., & Pyl, L. (2019). Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction. *Automation in Construction*, 103, 221-234. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.022>

Sassi, P. (2006). *Strategies for sustainable architecture*. Taylor & Francis. [https://library.uniteddiversity.coop/Ecological\\_Building/Strategies\\_for\\_Sustainable\\_Architecture.pdf](https://library.uniteddiversity.coop/Ecological_Building/Strategies_for_Sustainable_Architecture.pdf)

Sattler, L., Lamouri, S., & Pellerin, R. (2020). Rétro-BIM ou la question de l'intégration : Une revue anachronique. *SHS Web of Conferences*, 82, 02003. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20208202003>

Sattler, L., & Maigne, T. (2018, mars 15). L'ère post-BIM – Pour une obsolescence déprogrammée : Une étude de cas de deux projets de Frank Gehry en France, de 2008 à 2016 III/III - DNArchiDNArchi. *Design for Numerical Architecture*. <https://dnarchi.fr/experimentations/lere-post-bim-pour-une-obsolescence-deprogrammee-une-etude-de-cas-de-deux-projets-de-frank-gehry-en-france-de-2008-a-2016-iii-iii/>

SBA. (2019). *Guide méthodologique du cadre de référence—B4U BIM for Value*.

Sébastien, L., & Brodhag, C. (2004). A la recherche de la dimension sociale du développement durable. *Développement durable et territoires*, Dossier 3. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.1133>

Service Public de Wallonie, & Institut wallon de l'évaluation, de la prospective et de la statistique. (2019). *Où en est la Wallonie par rapport aux objectifs de développement durable ? Bilan des progrès*. [https://developpementdurable.wallonie.be/sites/default/files/2019-12/SPW%20-%20Rapport%20indicateurs%20ODD-def\\_0.pdf](https://developpementdurable.wallonie.be/sites/default/files/2019-12/SPW%20-%20Rapport%20indicateurs%20ODD-def_0.pdf)

Shen, Z., Jensen, W., Wentz, T., & Fischer, B. (2012). Teaching Sustainable Design Using BIM and Project-Based Energy Simulations. *Education Sciences*, 2(3), 136-149. <https://doi.org/10.3390/educsci2030136>

Shirazi, M. R., & Keivani, R. (2017). Critical reflections on the theory and practice of social sustainability in the built environment – a meta-analysis. *Local Environment*, 22(12), 1526-1545. <https://doi.org/10.1080/13549839.2017.1379476>

Shoolestani, A., Shoolestani, B., Froese, T., & Vanier, D. J. (2015). *SocioBIM: BIM-to-end user interaction for sustainable building operations and facility asset management*. <https://doi.org/10.14288/1.0076332>

Siala, A. (2019). *Modélisation et représentation des exigences spatiales qualitatives : Vers des pratiques BIM orientées « espace »*. Université de Lorraine.

Siala, A., Allani, N., Halin, G., & Bouattour, M. (2016). Donner du sens à l'espace architectural. Vers une intégration de la dimension sensible de l'architecture dans les pratiques BIM. *Mètre et paramètre, mesure et démesure du projet*. Séminaire de conception architecturale numérique SCAN16, Toulouse.

Siebelink, S., Voordijk, H., Endedijk, M., & Adriaanse, A. (2021). Understanding barriers to BIM implementation : Their impact across organizational levels in relation to BIM maturity. *Frontiers of Engineering Management*, 8(2), 236-257. <https://doi.org/10.1007/s42524-019-0088-2>

Sierra, L. A., Yepes, V., & Pellicer, E. (2018). A review of multi-criteria assessment of the social sustainability of infrastructures. *Journal of Cleaner Production*, 187, 496-513. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.022>

Silverman, D. (2013). *Doing qualitative research* (Fourth edition). SAGE Publications Ltd.

Silvestri, C. (2009). *Perception et conception en architecture non-standard*. Architecture, aménagement de l'espace. Université Montpellier II.

Smith, D., Metcalfe, P., & Lommerse, M. (2012). Interior architecture as an agent for wellbeing. *Journal of the Home Economics Institute of Australia*, 19(3), 2-9.

Smith, P. (2014). BIM Implementation – Global Strategies. *Procedia Engineering*, 85, 482-492. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.575>

Solemna. (2023). *Climate Studio—Advanced daylighting, electric lighting, and conceptual thermal analysis*. <https://www.solemna.com/climatestudio>

Soliman-Junior, J., Baldauf, J. P., Tzortzopoulos, P., Kagioglou, M., Humphreys, J. S., & Formoso, C. T. (2020). Improving healthcare design with BIM-based tools. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 588(3), 032003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/3/032003>

Soltani, S. (2016). The Contributions of Building Information Modelling to Sustainable Construction. *World Journal of Engineering and Technology*, 04(02), 193-199. <https://doi.org/10.4236/wjet.2016.42018>

Sonnenwald, D. H. (1996). Communication roles that support collaboration during the design process. *Design Studies*, 17(3), 277-301. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(96\)00002-6](https://doi.org/10.1016/0142-694X(96)00002-6)

Spies, N. (2013, janvier 28). *Evolution des réglementations thermiques*. L'isolation thermique des façades, Salon Batimoi, Marche-en-Famenne. [https://www.cstc.be/homepage/download.cfm?lang=nl&dtype=agendapresentations&doc=doc\\_400\\_3\\_N\\_Spies\\_Evolution\\_des\\_reglementations\\_thermiques.pdf](https://www.cstc.be/homepage/download.cfm?lang=nl&dtype=agendapresentations&doc=doc_400_3_N_Spies_Evolution_des_reglementations_thermiques.pdf)

Spool, J. M. (Éd.). (1999). *Web site usability: A designer's guide*. Morgan Kaufmann Publishers.

Stals, A. (2019). *Pratiques numériques émergentes en conception architecturale dans les bureaux de petite taille – Perceptions et usages de la modélisation paramétrique*. Université de Liège.

Stals, A. (2020a). *Panorama des pratiques numériques dans les bureaux d'architecture belges de petite et moyenne taille*. <https://doi.org/10.48568/YT11-ZD82>

Stals, A. (2020b, février 3). Panorama des pratiques numériques dans les bureaux d'architecture belges de petite et moyenne taille. *DNArchi*.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., Vries, W. de, Wit, C. A. de, Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>

Succar, B. (2010). Building Information Modelling Maturity Matrix. In *Handbook of Research on Building Information Modelling and Construction Informatics: Concepts and Technologies*. Information Science Reference, IGI Publishing.

Sutherland, I. E. (1964). Sketchpad a Man-Machine Graphical Communication System. *SIMULATION*, 2(5), R-3-R-20. <https://doi.org/10.1177/003754976400200514>

Tanner, A., Gretz, M., Spahr, C., Senn, N., & Fragnière, A. (2022). Les limites planétaires et la santé. In *Santé et environnement: Vers une nouvelle approche globale*. RMS éditions / Médecine & Hygiène.

Taylor, W. B. (1981). The use of life cycle costing in acquiring physical assets. *Long Range Planning*, 14(6), 32-43. [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(81\)90058-3](https://doi.org/10.1016/0024-6301(81)90058-3)

Teizer, J. (2016). Right-time vs real-time pro-active construction safety and health system architecture. *Construction Innovation*, 16(3), 253-280. <https://doi.org/10.1108/CI-10-2015-0049>

Terrade, F., Pasquier, H., Reerincq-Boulanger, J., Guingouain, G., & Somat, A. (2010). L'acceptabilité sociale: La prise en compte des déterminants sociaux dans l'analyse de l'acceptabilité des systèmes technologiques: *Le travail humain*, Vol. 72(4), 383-395. <https://doi.org/10.3917/th.724.0383>



Tidafi, T. (1996). *Moyens pour la communication en architecture. Proposition de la modélisation d'actions pour la figuration architecturale*. Université de Montréal.

Tixier, A. J.-P., Hallowell, M. R., Rajagopalan, B., & Bowman, D. (2017). Construction Safety Clash Detection: Identifying Safety Incompatibilities among Fundamental Attributes using Data Mining. *Automation in Construction*, 74, 39-54. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.11.001>

Toubanos, D. (2018). *Les projets de logements en Europe à l'aune du développement durable : Adaptations, transformations, innovations et obstacles dans la conception architecturale (2005-2015)* [Université Paris-Est]. <http://www.theses.fr/2018PESC1087>

Tourpe, A. (2004). *Le Dessin Assisté par Ordinateur (DAO) dans la formation des ingénieurs. Proposition et évaluation d'environnements d'apprentissage*. Université catholique de Louvain.

Tricot, A., Plégat-Soutjis, F., Camps, J.-F., Amiel, A., Lutz, G., & Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : Interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. *EAIH 2003 - Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, 391-402.

Turan, I., Chegut, A., Fink, D., & Reinhart, C. (2020). The value of daylight in office spaces. *Building and Environment*, 168, 106503. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106503>

Ulrich, R. S. (2006). Essay: Evidence-based health-care architecture. *The Lancet*, 368, S38-S39. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)69921-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)69921-2)

Ulrich, R. S., Zimring, C., Zhu, X., DuBose, J., Seo, H.-B., Choi, Y.-S., Quan, X., & Joseph, A. (2008). A Review of the Research Literature on Evidence-Based Healthcare Design. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 1(3), 61-125. <https://doi.org/10.1177/193758670800100306>

Umar, T. (2021). Challenges of BIM implementation in GCC construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*. <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2019-0608>

United Nations. (2015). *Global sustainable development report. 2015 Edition*. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1758GSDR%202015%20Advance%20Unedited%20Version.pdf>

Utkucu, D., & Sözer, H. (2020). Interoperability and data exchange within BIM platform to evaluate building energy performance and indoor comfort. *Automation in Construction*, 116, 103225. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103225>

Vallance, S., Perkins, H. C., & Dixon, J. E. (2011). What is social sustainability? A clarification of concepts. *Geoforum*, 42(3), 342-348. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2011.01.002>

Van Herzele, A. (2004). Local Knowledge in Action : Valuing Nonprofessional Reasoning in the Planning Process. *Journal of Planning Education and Research*, 24(2), 197-212. <https://doi.org/10.1177/0739456X04267723>

Vandevyvere, H., & Stremke, S. (2012). Urban Planning for a Renewable Energy Future : Methodological Challenges and Opportunities from a Design Perspective. *Sustainability*, 4(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/su4061309>

Varenne, F., Silberstein, M., & Dutreuil, S. (2018). *Modéliser et simuler : Epistémologies et pratiques de la modélisation et de la simulation. Tome 2*. Primento Digital Publishing.

- Vargoz, F., & Guez, E. (2015). Une histoire de l'ordinateur du point de vue de la théorie des média. *Cahiers philosophiques*, n° 141(2), 55. <https://doi.org/10.3917/caph.141.0055>
- Veschambre, V. (2014). La cheminée d'usine entre « totem et tabou » : Effacement versus appropriation d'un symbole du passé industriel. *L'Homme et la société*, 192(2), 49. <https://doi.org/10.3917/lhs.192.0049>
- Vischer, J. C. (2008). Towards an Environmental Psychology of Workspace : How People are Affected by Environments for Work. *Architectural Science Review*, 51(2), 97-108. <https://doi.org/10.3763/asre.2008.5114>
- Vitruvius. (2015). *De l'Architecture : De architectura* (P. Gros, Éd.). Les Belles Lettres.
- Vivien, F.-D. (2007). Sustainable development : Un problème de traduction. *Responsabilité et environnement*, 48, 58-61.
- Vygotsky, L. S. (1980). *Mind in Society : Development of Higher Psychological Processes* (M. Cole, V. Jolm-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman, Éd.). Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjf9vz4>
- Wallonie Energie. (2017). *Nouvelles constructions : Des bâtiments Quasi Zéro Energie (Q-ZEN) dès 2021 !* Portail Wallonie.be. <https://energie.wallonie.be/fr/q-zen.html?IDC=8729>
- Walser-Luchesi, A., & Calmelet, L. (2007). La conception à l'écoute du marché : Un outil d'optimisation du cahier des charges en B to B. *Décisions Marketing*, 47, 47-59.
- Wang, Y., Thangasamy, V. K., Hou, Z., Tiong, R. L. K., & Zhang, L. (2020). Collaborative relationship discovery in BIM project delivery : A social network analysis approach. *Automation in Construction*, 114, 103147. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103147>
- Wang-Erlandsson, L., Tobian, A., van der Ent, R. J., Fetzer, I., te Wierik, S., Porkka, M., Staal, A., Jaramillo, F., Dahlmann, H., Singh, C., Greve, P., Gerten, D., Keys, P. W., Gleeson, T., Cornell, S. E., Steffen, W., Bai, X., & Rockström, J. (2022). A planetary boundary for green water. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(6), 380-392. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00287-8>
- Weidema, B. P. (2006). *Social impact categories, indicators, characterisation and damage modelling*.
- Weingaertner, C., & Moberg, Å. (2014). Exploring Social Sustainability : Learning from Perspectives on Urban Development and Companies and Products: Exploring Social Sustainability. *Sustainable Development*, 22(2), 122-133. <https://doi.org/10.1002/sd.536>
- Wong, J. K. W., & Zhou, J. (2015). Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. *Automation in Construction*, 57, 156-165. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>
- Woo, J.-H., Peterson, M. A., & Gleason, B. (2016). Developing a Virtual Campus Model in an Interactive Game-Engine Environment for Building Energy Benchmarking. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(5), C4016005. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000600](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000600)
- Woodcraft, S. (2015). Understanding and measuring social sustainability. *Journal of Urban Regeneration and Renewal*, 8(2), 133-144.

Wortmann, A. E., Root, D. S., & Venkatachalam, S. (2015). *Building information modelling (BIM) standards and specifications around the world and its applicability to the south african AEC sector: A critical review*. Proceedings of the 1st International BIM Academic Forum (BAF) Conference, Glasgow. [https://www.researchgate.net/profile/Anine-Eschberger-Wortmann/publication/308050912\\_Full\\_Conference\\_Paper/links/57d82b3308ae6399a3991a55/Full-Conference-Paper.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Anine-Eschberger-Wortmann/publication/308050912_Full_Conference_Paper/links/57d82b3308ae6399a3991a55/Full-Conference-Paper.pdf)

Yan, W., & Liu, G. (2007). *BIMGame : Integrating Building Information Modeling and Games to Enhance Sustainable Design and Education*. eCAADe 25.

Zhang, J. P., & Hu, Z. Z. (2011). BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction : 1. Principles and methodologies. *Automation in Construction*, 20(2), 155-166. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.013>

Zhang, J., Schmidt, K., & Li, H. (2016). BIM and Sustainability Education : Incorporating Instructional Needs into Curriculum Planning in CEM Programs Accredited by ACCE. *Sustainability*, 8(6), 525. <https://doi.org/10.3390/su8060525>

Zhang, S., Teizer, J., Pradhananga, N., & Eastman, C. M. (2015). Workforce location tracking to model, visualize and analyze workspace requirements in building information models for construction safety planning. *Automation in Construction*, 60, 74-86. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.009>

Zingariello, I. (2021). From BIM to CIM: A New Instrument for Urban Planners and a New Bottom-Up Planning Process. In D. La Rosa & R. Privitera (Éds.), *Innovation in urban and regional planning : Proceedings of the 11th INPUT Conference. Volume 1*. Springer.

# Thèse de doctorat

Présentée et soutenue par **Elodie ANDRE**

Le 19 décembre 2023, à l'Université de Mons

**Traiter la durabilité sociale avec le BIM**

**Enquête sur l'acceptabilité des usages BIM pour la durabilité sociale  
auprès des concepteurs du projet d'architecture**

**ANNEXES**

## Table des matières

Annexe 1 : Enquête partie 2 - Tableaux d'analyses.....	7
1.1 Sécurité.....	8
1.2 Confort des usagers.....	11
1.3 Processus d'apprentissage pour les étudiants et les professionnels de la construction .....	14
1.4 Patrimoine culturel.....	16
1.5 Communication avec les usagers .....	17
1.6 Communication entre les acteurs du projet.....	18
Annexe 2 : Retranscription des entretiens.....	19
220420 – R1 .....	19
01:54 > 03:23 [Introduction] .....	19
03:23 > 20:23 [Profil] .....	20
20:23 > 28:19 [Définition des concepts] [Concept architecture durable].....	23
28:19 > 31:34 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM] .....	25
31:34 > 40:04 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale] .....	26
40:04 > 49:15 [Sécurité] .....	28
49:15 > 59:37 [Confort des usagers] .....	30
59:37 > 1:04:51 [Processus d'apprentissage].....	33
1:04:52 > 1:08:53 [Patrimoine culturel] .....	34
1:08:52 > 1:12:22 [Communication avec les usagers].....	35
1:12:22 > 1:17:27 [Communication entre les acteurs du projet].....	36
220422 – R2 .....	38
00:00 > 01:13 [Introduction] .....	38
01:13 > 03:10 [Profil] .....	38
03:10 > 04:45 [Définition des concepts] [Concept architecture durable].....	38
04:44 > 09:17 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM] .....	39
12:48 > 19:39 [Sécurité] .....	40
19:39 > 26:54 [Confort des usagers] .....	41
26:54 > 33:45 [Processus d'apprentissage].....	43
33:45 > 37:22 [Patrimoine culturel] .....	44
37:22 > 40:43 [Communication avec les usagers] .....	45
40:43 > 51:07 [Communication entre les acteurs du projet] .....	45
220604 – R3 .....	49
00:00 > 01:22 [Introduction] .....	49
01:22 > 09:45 [Profil] .....	49
09:45 > 13:38 [Définition des concepts] [Concept architecture durable].....	51
13:38 > 20:22 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM] .....	52

20:22 > 23:45 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale] .....	53
25:35 > 33:13 [Sécurité] .....	54
33:13 > 37:44 [Confort des usagers] .....	56
37:44 > 42:02 [Communication avec les usagers] .....	57
42:02 > 50:09 [Processus d'apprentissage] .....	57
50:09 > 53:44 [Patrimoine culturel] .....	59
53:44 > 57:53 [Communication avec les usagers] .....	60
57:53 > 1:01:43 [Communication entre les acteurs du projet] .....	60
220704 – R4 .....	62
00:00 > 01:10 [Introduction] .....	62
01:10 > 04:31 [Profil] .....	62
04:31 > 06:42 [Définition des concepts] [Concept architecture durable] .....	63
06:42 > 08:48 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM] .....	64
08:48 > 11:31 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale] .....	64
14:47 > 16:22 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale] .....	65
16:22 > 26:58 [Sécurité] .....	66
26:59 > 34:11 [Confort des usagers] .....	68
34:24 > 43:08 [Processus d'apprentissage] .....	69
43:08 > 46:49 [Patrimoine culturel] .....	71
46:49 > 56:02 [Communication avec les usagers] .....	72
56:02 > 1:00:07 [Communication entre les acteurs du projet] .....	74
1:00:07 > 1:01:43 [Outro] .....	75
230118 – R5 .....	76
00:56 > 02:00 [Introduction] .....	76
02:00 > 03:56 [Profil] .....	76
03:56 > 05:12 [Profil] [Formation durabilité] .....	77
05:12 > 06:47 [Profil] [Formation numérique] .....	77
06:47 > 11:40 [Définition des concepts] [Concept architecture durable] .....	78
11:40 > 14:16 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM] .....	79
14:16 > 20:36 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale] .....	79
20:36 > 22:16 [Définition des concepts] [BIM et durabilité sociale] .....	81
22:16 > 24:22 [BIM et durabilité sociale] .....	81
25:20 > 28:09 [Sécurité] .....	82
28:09 > 39:16 [Confort des usagers] .....	83
39:16 > 44:00 [Processus d'apprentissage] .....	85
44:00 > 45:18 [Patrimoine culturel] .....	86
45:18 > 47:33 [Communication avec les usagers] .....	86

47:33 > 52:47 [Communication entre les acteurs du projet] .....	87
52:47 > 54:06 [BIM et durabilité sociale] .....	88
54:06 > 58:46 [Motivation à la durabilité].....	88
1:02:29 > 1:04:35 [Outro].....	90
230126 – R6.....	91
00:00 > 02:27 [Introduction] .....	91
02:27 > 04:26 [Profil] .....	91
07:01 > 11:16 [Profil] .....	93
11:16 > 14:19 [Définition des concepts] [Concept architecture durable].....	94
14:19 > 18:05 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM] .....	94
18:05 > 19:51 [Définition des concepts] [BIM et durabilité sociale] .....	95
21:41 > 30:15 [Sécurité] .....	96
30:15 > 37:27 [Confort des usagers] .....	98
37:27 > 41:32 [Processus d'apprentissage].....	99
41:32 > 43:47 [Patrimoine culturel] .....	100
43:47 > 47:57 [Communication entre les acteurs du projet] [Communication avec les usagers] .....	100
47:57 > 50:52 [BIM et durabilité sociale] .....	101
50:52 > 52:34 [Communication entre les acteurs du projet] .....	102
230208 – R7 .....	103
00:20 > 01:22 [Introduction] .....	103
01:22 > 14:10 [Profil].....	103
14:10 > 17:41 [Définition des concepts] [Concept architecture durable].....	106
17:50 > 25:27 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM] .....	106
25:27 > 37:20 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale] .....	108
39:05 > 53:00 [Sécurité] .....	111
53:00 > 1:12:02 [Confort des usagers] .....	114
1:12:02 > 1:25:02 [Processus d'apprentissage].....	119
1:25:02 > 1:28:16 [Patrimoine culturel] .....	121
1:28:16 > 1:34:22 [Communication avec les usagers].....	122
1:34:22 > 1:39:51 [Communication entre les acteurs du projet].....	124
1:39:51 > 1:44:31 [Motivation à la durabilité] .....	125
1:44:31 > 1:50:02 [Outro].....	126
230223 – R8.....	128
00:00 > 01:04 [Introduction] .....	128
01:04 > 03:59 [Profil] .....	128
03:59 > 06:59 [Définition des concepts] [Concept architecture durable].....	129
06:59 > 09:04 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM] .....	130

09:04 > 10:52 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale] .....	130
15:02 > 32:08 [Sécurité] .....	131
32:08 > 35:23 [Confort des usagers] .....	135
45:54 > 56:54 [Processus d'apprentissage] .....	138
56:54 > 1:03:31 [Patrimoine culturel] .....	141
1:03:31 > 1:11:20 [Communication avec les usagers] .....	143
1:11:20 > 1:16:30 [Communication entre les acteurs du projet] .....	144
1:16:30 > 1:19:36 [Outro] .....	146
230301 – R9 .....	147
00:00 > 00:45 [Introduction] .....	147
00:45 > 07:50 [Profil] .....	147
07:50 > 10:13 [Définition des concepts] [Concept architecture durable] .....	149
10:13 > 13:15 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM] .....	149
13:17 > 17:22 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale] .....	150
20:29 > 42:09 [Sécurité] .....	151
42:09 > 1:04:55 [Confort des usagers] .....	154
1:04:55 > 1:18:53 [Processus d'apprentissage] .....	157
1:18:53 > 1:23:08 [Patrimoine culturel] .....	159
1:23:08 > 1:35:54 [Communication avec les usagers] .....	159
1:35:54 > 1:39:59 [Communication entre les acteurs du projet] .....	161
1:39:59 > 1:40:39 [Outro] .....	162
230724 – R10 .....	162
00:00 > 03:30 [Profil] .....	162
03:30 > 04:14 [Formation durabilité] [Formation numérique] .....	163
04:14 > 06:29 [Définition des concepts] [Concept architecture durable] .....	163
06:29 > 08:00 [Définition des concepts] [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM] .....	164
08:00 > 18:42 [Définition des concepts] [BIM et durabilité sociale] .....	164
Définition des concepts - Durabilité sociale .....	165
18:42 > 40:13 [Sécurité] .....	166
40:13 > 51:30 [Confort des usagers] .....	170
51:30 > 58:28 [Processus d'apprentissage] .....	172
58:28 > 1:05:06 [Patrimoine culturel] .....	173
1:05:06 > 1:10:12 [Communication avec les usagers] .....	175
1:10:12 > 1:17:38 [Communication entre les acteurs du projet] .....	176
1:17:38 > 1:19:16 [Outro] .....	178
230811 – R11 .....	179
00:00 > 03:35 [Formation durabilité] [Formation numérique] [Profil] .....	179



03:35 > 05:05 [Définition des concepts] [Concept architecture durable].....	179
05:05 > 06:58 [Définition des concepts] [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM].....	180
06:58 > 10:31 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale] .....	180
12:22 > 32:30 [Sécurité] .....	181
32:30 > 49:14 [Confort des usagers] .....	185
49:14 > 1:03:00 [Processus d'apprentissage].....	189
1:03:01 > 1:11:41 [Patrimoine culturel] .....	191
1:11:41 > 1:21:30 [Communication avec les usagers].....	193
1:21:30 > 1:26:54 [Communication entre les acteurs du projet].....	195
1:26:54 > 1:28:47 [Outro].....	196
Annexe 3 : Listes de codes classés par occurrence .....	196
3.1 Codes liés à la définition de l'architecture durable.....	196
3.2 Codes liés à la définition de la durabilité sociale.....	198
3.3 Codes liés au croisement des thématiques BIM et durabilité.....	199
3.4 Codes liés à la thématique de la sécurité .....	200
3.5 Codes liés à la thématique du confort des usagers.....	202
3.6 Codes liés à la thématique des processus d'apprentissage pour les étudiants et professionnels de la construction.....	205
3.7 Codes liés à la thématique du patrimoine culturel .....	206
3.8 Codes liés à la thématique de la communication avec les usagers.....	207
3.9 Codes liés à la thématique de la communication entre les acteurs du projet.....	208
Annexe 4 : Liste des codes par répondant .....	209
Annexe 5 : Guide d'entretien .....	211
Annexe 6 : Première version du tableau présenté en entretien.....	212
Annexe 7 : Deuxième version du tableau présenté en entretien .....	214
Annexe 8 : Tableau présenté en entretien – Version en néerlandais.....	217

## Annexe 1 : Enquête partie 2 - Tableaux d'analyses

Pour chacun de ces tableaux, les premiers usages sont les usages identifiés par la doctorante (couleur foncée), et les seconds usages sont les usages identifiés par les répondants (couleur claire).

Les tableaux sont à lire en se référant à la légende suivante :

7	Présent
6	Futur
5	Idéal
4	Faisable
3	Utilité
2	Réticence
1	Rejet
0	Pas de réponse

## 1.1 Sécurité

Ancrage perçu Sécurité	R1	R2	R3	R4
Utilisation des données de précédents chantiers pour identifier les risques et accidents fréquents	4	0	6	0
Vérification des règles de sécurité	4	7	7	0
Estimation du coût des équipements de sécurité	4	0	0	0
Localisation sur le chantier en temps réel des ouvriers et des équipements	2	0	6	6
Utilisation de capteurs dans les casques des ouvriers	2	0	6	2
Visualisation des espaces de sécurité requis pour manipuler les équipements	4	7	0	6
Identification des conflits horaires entre équipes ou équipements lourds	5	0	7	6
Gestion des interventions en cas d'incendie	5	1	0	0
Entraînement et formation des usagers aux règles de sécurité	0	6	0	0
Modélisation des aménagements liés à la sécurité (échelle de secours, ligne de vie, ...) <b>en phase conception</b>	7	0	5	0
Modélisation des équipements de chantier par <b>l'entrepreneur</b> , y compris des équipements provisoires ou mobiles (échafaudages, gardes corps, zones de stockages,...), <b>en intégrant une composante temporelle</b>	5	0	0	0
Vérification des réglementations et normes d'accès PMR	0	7	0	0
Visualisation des zones nécessaires à la maintenance des équipements	0	7	5	0
Utilisation de la maquette en tant qu'interface de visualisation des alertes de sécurité liées à la maintenance des équipements	0	6	5	0
Utilisation du modèle numérique par les pompiers en cas d'incendie	5	1	5	0

Ancrage perçu Sécurité	R5	R6	R7	R8
Utilisation des données de précédents chantiers pour identifier les risques et accidents fréquents	0	7	7	2
Vérification des règles de sécurité	0	7	7	7
Estimation du coût des équipements de sécurité	0	2	0	7
Localisation sur le chantier en temps réel des ouvriers et des équipements	0	7	7	6
Utilisation de capteurs dans les casques des ouvriers	0	7	6	2
Visualisation des espaces de sécurité requis pour manipuler les équipements	0	7	0	7
Identification des conflits horaires entre équipes ou équipements lourds	0	7	7	6
Gestion des interventions en cas d'incendie	0	5	0	2
Entraînement et formation des usagers aux règles de sécurité	0	5	7	7
Modélisation des aménagements liés à la sécurité (échelle de secours, ligne de vie, ...) <b>en phase conception</b>	0	0	0	7
Modélisation des équipements de chantier par <b>l'entrepreneur</b> , y compris des équipements provisoires ou mobiles (échafaudages, gardes corps, zones de stockages,...), <b>en intégrant une composante temporelle</b>	0	0	7	0
Vérification des réglementations et normes d'accès PMR	0	7	0	7
Visualisation des zones nécessaires à la maintenance des équipements	0	0	0	7
Utilisation de la maquette en tant qu'interface de visualisation des alertes de sécurité liées à la maintenance des équipements	0	0	5	5
Utilisation du modèle numérique par les pompiers en cas d'incendie	0	0	6	1

Ancrage perçu Sécurité	R9	R10	R11
Utilisation des données de précédents chantiers pour identifier les risques et accidents fréquents	6	6	3
Vérification des règles de sécurité	6	7	3
Estimation du coût des équipements de sécurité	7	7	BIM juste pour quantité avec tableur Revit lié à un excel
Localisation sur le chantier en temps réel des ouvriers et des équipements	7	3	1
Utilisation de capteurs dans les casques des ouvriers	6	1	1
Visualisation des espaces de sécurité requis pour manipuler les équipements	6	7	4
Identification des conflits horaires entre équipes ou équipements lourds	2	4	Ca se fait mais est-ce utile?
Gestion des interventions en cas d'incendie	6	5	5
Entraînement et formation des usagers aux règles de sécurité	7	3	5
Modélisation des aménagements liés à la sécurité (échelle de secours, ligne de vie, ...) <b>en phase conception</b>	7	7	7
Modélisation des équipements de chantier par <b>l'entrepreneur</b> , y compris des équipements provisoires ou mobiles (échafaudages, gardes corps, zones de stockages,...), <b>en intégrant une composante temporelle</b>	7	5	7
Vérification des réglementations et normes d'accès PMR	6	7	5
Visualisation des zones nécessaires à la maintenance des équipements	7	7	7
Utilisation de la maquette en tant qu'interface de visualisation des alertes de sécurité liées à la maintenance des équipements	7	6	7
Utilisation du modèle numérique par les pompiers en cas d'incendie	7	5	5

## 1.2 Confort des usagers

Ancrage perçu Confort des usagers	R1	R2	R3	R4
Collecte de données liées à l'occupation du bâtiment	6	7	7	7
Simulation de l'éclairage naturel et artificiel	7	7	0	6
Identification des causes d'inconfort liées à l'agencement des espaces	6	7	6	1
Monitoring de la production d'électricité, de chauffage et de la ventilation (*)	7	0	Futur pour BIM mais présent pour d'autres logiciels.	0
Estimation des coûts liés à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers	6	7	0	0
Amélioration de la compréhension du contrôle par les usagers de la consommation des équipements (électricité, chauffage, luminosité, ...) à partir d'une application téléphone	6	0	6	0
Analyses acoustiques	0	7	0	0
Analyses des flux de circulation des usagers	0	7	0	0
Analyse des flux de circulation de l'air	0	7	0	0
Gestion du patrimoine végétal	0	0	0	0

Ancrage perçu Confort des usagers	R5	R6	R7	R8
Collecte de données liées à l'occupation du bâtiment	7	7	5	7
Simulation de l'éclairage naturel et artificiel	3	4	7	7
Identification des causes d'inconfort liées à l'agencement des espaces	5	4	5	7
Monitoring de la production d'électricité, de chauffage et de la ventilation (*)	Idéal avec BIM. Mais actuellement se fait sans. Très mitigé sur le sujet	5	7	7
Estimation des coûts liés à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers	0	4	5	Présent + Utilité ?
Amélioration de la compréhension du contrôle par les usagers de la consommation des équipements (électricité, chauffage, luminosité, ...) à partir d'une application téléphone	Utilité? Présent?	0	7	2
Analyses acoustiques	0	0	2	7
Analyses des flux de circulation des usagers	0	4	5	2
Analyse des flux de circulation de l'air	0	4	Présent ou idéal ?	0
Gestion du patrimoine végétal	0	0	0	7

Ancrage perçu Confort des usagers	R9	R10	R11
Collecte de données liées à l'occupation du bâtiment	7	3	7
Simulation de l'éclairage naturel et artificiel	6	7	7
Identification des causes d'inconfort liées à l'agencement des espaces	6	Réticence/Utilité/idéal	3
Monitoring de la production d'électricité, de chauffage et de la ventilation (*)	7	6	3
Estimation des coûts liés à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers	7	7	5
Amélioration de la compréhension du contrôle par les usagers de la consommation des équipements (électricité, chauffage, luminosité, ...) à partir d'une application téléphone	Utilité? Réticence ou futur?	6	3
Analyses acoustiques	6	7	7
Analyses des flux de circulation des usagers	7	7	7
Analyse des flux de circulation de l'air	1	7	7
Gestion du patrimoine végétal	1	4	6



### 1.3 Processus d'apprentissage pour les étudiants et les professionnels de la construction

Ancrage perçu Processus d'apprentissage pour étudiants et professionnels de la construction	R1	R2	R3	R4
Visualisation des espaces	7	7	7	6
Amélioration de la compréhension de l'aménagement des espaces	7	7	7	2
Apprentissage des principes de construction durable par simulation	6	0	0	0
Apprentissage par simulation en immersion virtuelle (conception, travail en hauteur)	6	0	0	6
Simulation du processus chronologique de la construction	5	0	0	0
Apprentissage des jeux d'acteurs dans la construction	5	0	0	0
Apprentissage des techniques de construction, amélioration de la compréhension des nœuds constructifs	6	0	0	2

Ancrage perçu Processus d'apprentissage pour étudiants et professionnels de la construction	R5	R6	R7	R8
Visualisation des espaces	7	7	0	7
Amélioration de la compréhension de l'aménagement des espaces	7	7	6	7
Apprentissage des principes de construction durable par simulation	0	7	5	7
Apprentissage par simulation en immersion virtuelle (conception, travail en hauteur)	0	0	0	6
Simulation du processus chronologique de la construction	0	7	0	7
Apprentissage des jeux d'acteurs dans la construction	0	7	0	7
Apprentissage des techniques de construction, amélioration de la compréhension des nœuds constructifs	0	7	6	5

Ancrage perçu Processus d'apprentissage pour étudiants et professionnels de la construction	R9	R10	R11
Visualisation des espaces	7	7	7
Amélioration de la compréhension de l'aménagement des espaces	7	7	7
Apprentissage des principes de construction durable par simulation	6	5	7
Apprentissage par simulation en immersion virtuelle (conception, travail en hauteur)	7	4	4
Simulation du processus chronologique de la construction	6	7	4
Apprentissage des jeux d'acteurs dans la construction	0	2	1
Apprentissage des techniques de construction, amélioration de la compréhension des nœuds constructifs	7	7	7

## 1.4 Patrimoine culturel

Ancrage perçu Patrimoine culturel	R1	R2	R3	R4
Modélisation de bâtiments à différentes époques	4	7	?	7
Bibliothèques numériques de bâtiments historiques	4	0	?	0
Surveillance des bâtiments	3	Présent / futur proche	?	7
Maintenance et entretien des bâtiments	3	0	?	0
Réduction des coûts de maintenance	3	0	?	0
Détection des fissures et des pathologies des bâtiments		Présent / futur proche	?	0

Ancrage perçu Patrimoine culturel	R5	R6	R7	R8
Modélisation de bâtiments à différentes époques	0	3	7	7
Bibliothèques numériques de bâtiments historiques	0	0	5	5
Surveillance des bâtiments	0	0	0	6
Maintenance et entretien des bâtiments	0	0	0	6
Réduction des coûts de maintenance	0	0	0	4
Détection des fissures et des pathologies des bâtiments	0	0	7	4

Ancrage perçu Patrimoine culturel	R9	R10	R11
Modélisation de bâtiments à différentes époques	6	7	7
Bibliothèques numériques de bâtiments historiques	0	7	7
Surveillance des bâtiments	0	2	6
Maintenance et entretien des bâtiments	7	3	6
Réduction des coûts de maintenance	0	3	7
Détection des fissures et des pathologies des bâtiments	7	6	6

## 1.5 Communication avec les usagers

Ancrage perçu Communication avec les usagers	R1	R2	R3	R4
Visualisation partagée des solutions proposées	Ne le dit pas clairement	7	7	7
Intégration de la participation citoyenne	6	2	7	5
Communication aux locataires à propos des entretiens à réaliser	0	7	5	0
Suivi des résolutions des pannes (en attente, en cours, terminé)	0	Pas sure que ça soit cet usage dont elle parle mais elle dit qu'ils utilisent la moquette pour	0	0
Diagnostic des pannes à distance, sur base d'une communication virtuelle avec les usagers	0		0	0

Ancrage perçu Communication avec les usagers	R5	R6	R7	R8
Visualisation partagée des solutions proposées	7	0	7	7
Intégration de la participation citoyenne	4	0	5	3
Communication aux locataires à propos des entretiens à réaliser	0	0	0	3
Suivi des résolutions des pannes (en attente, en cours, terminé)	0	0	0	3
Diagnostic des pannes à distance, sur base d'une communication virtuelle avec les usagers	0	0	0	2

Ancrage perçu Communication avec les usagers	R9	R10	R11
Visualisation partagée des solutions proposées	7	5	7
Intégration de la participation citoyenne	7	5	6
Communication aux locataires à propos des entretiens à réaliser	7	6	3
Suivi des résolutions des pannes (en attente, en cours, terminé)	7	5	3
Diagnostic des pannes à distance, sur base d'une communication virtuelle avec les usagers	7	5	6

## 1.6 Communication entre les acteurs du projet

Ancrage perçu Communication entre les acteurs du projet	R1	R2	R3	R4
Recensement des échanges liés au projet	0	0	0	0
Collaboration améliorée	7	5	5	7

Ancrage perçu Communication entre les acteurs du projet	R5	R6	R7	R8
Recensement des échanges liés au projet	5	7	5	6
Collaboration améliorée	6	7	7	7

Ancrage perçu Communication entre les acteurs du projet	R9	R10	R11
Recensement des échanges liés au projet	6	5	4
Collaboration améliorée	0	5	7

## Annexe 2 : Retranscription des entretiens

220420 – R1

=====

00:00 > 01:54 [ Pas de thématique]

Doctorante : Si nécessaire, enfin ça je reposerai la question en fin d'entretien, mais si après coup, après que tu te sois rendu compte de ce que tu as dit, tu n'as pas envie que ce soit associé à ton nom, je peux enlever ton nom, c'est juste que ce sera associé à un profil de type "BIM manager", "Architecte", enfin ce sera associé à un profil mais pas à un nom. Donc ça ce sera, on verra ça à la fin de l'entretien en fonction de ce qui a été dit.

R1: Si j'assume pas ce que je dis, si je crache sur mon entreprise et que je veux me faire licencier... (rires)

Doctorante : A priori il n'y a pas de trucs confidentiels qui vont sortir, mais bon dans le doute je le propose quand même.

R1: Non mais de manière générale j'assume ce que je dis. Donc ça devrait aller.

Doctorante : Donc du coup je vais mettre [l'enregistreur] pile entre les deux pour que ce soit audible.

R1: Il n'y a pas de problème. Si tu veux un café, de l'eau, un chocolat...

Doctorante : Non ça va, j'emporte ma gourde d'eau partout donc je vais juste prendre un peu d'eau avant.

01:54 > 03:23 [Introduction]

Doctorante : Donc du coup pour le contexte, déjà tout d'abord merci d'avoir accepté de répondre à cet entretien.

R1: Avec plaisir.

Doctorante : Comme je l'ai déjà dit, je préfère le redire ayant la preuve de l'enregistrement que se sera enregistré, ça peut être refusé mais pour moi c'est quand même beaucoup plus facile si c'est ok.

R1: Pas de problème.

Doctorante : L'entretien est prévu pour durer à peu près une heure, par contre en fonction des réponses, de l'intérêt que tu vas porter aux questions ça peut prendre un peu moins de temps ou un peu plus, mais de toute manière si au bout d'un moment il faut y aller ce n'est pas grave je m'adapterai.

R1: Je vais vérifier ce que j'ai après, mais je pense qu'on avait prévu une heure et demie ?

Doctorante : Moi j'avais dit que ce serait entre 1h et 1h30 parce que je sais que parfois certaines personnes prennent plus de temps parce qu'elles ont plus de choses à dire ou parce qu'elles apprécient parler.

R1: Ou parce que c'est un débat intéressant et que ça vaut la peine d'avoir les points de vue partagés. Pour ton info j'ai jusqu'à 16h, il est 14h42 donc on a 1h15 devant nous.

Doctorante : Ok, ça devrait aller. Donc il y a trois parties dans ce questionnaire, la première partie elle est assez brève, elle sert à cerner ton profil. La deuxième partie elle va servir à vérifier qu'on a la même définition des concepts que j'utilise donc à nouveau ça va être plutôt bref. Et la dernière partie c'est la plus importante

pour moi, c'est la partie qui questionne tes habitudes et tes aspirations quant à la mise en place d'une forme de durabilité dans les pratiques BIM. Mais bon mes questions vont guider vers ça.

03:23 > 20:23 [Profil]

Doctorante : Donc voilà la première partie c'est la partie du profil. La première question que j'avais c'est quelle formation as-tu suivie et combien d'années d'expérience tu as dans le milieu de la construction ?

R1: Alors, je suis architecte de formation, j'ai un parcours un peu atypique d'un point de vue professionnel mais toujours dans le secteur de la construction. J'ai fait mes études à Saint-Luc en 5 ans donc en réussissant chaque année, j'ai fini en 2009, on est en 2022 donc ça fait 13 ans si je calcule bien. Donc ensuite si je fais mon parcours rapidement : sorti de Saint-Luc j'ai fait un bureau d'archi en Belgique pour mon stage, j'ai fini mon stage dans un bureau d'architecture à Montréal. Je suis parti, de moi-même, trouver du travail là-bas. Une fois revenu en Belgique j'ai encore travaillé dans deux bureaux d'architecture. Et en fait j'ai commencé, parce que là je pense qu'il y a un parcours "monde de la construction" et un parcours "BIM", moi je fais souvent le parallèle des deux parce que je trouve que c'est intéressant d'avoir une vision différente des deux, en tout cas c'était quelque chose d'intéressant pour moi professionnellement. Et donc j'ai commencé à découvrir le BIM, ça commençait à la fin de mes études en 2009 entre les étudiants mais concrètement j'ai commencé pour la première fois à modéliser et à travailler comme architecte à Montréal, dans le bureau d'architecture à Montréal, et après je me suis rendu compte que ça m'intéressait et qu'il y avait un potentiel énorme qu'on imaginait à mon avis que très peu encore à ce moment-là sur la gestion data dans le secteur de la construction au sens large. Donc après avoir fait quatre bureaux d'architecture je suis parti travailler pour une entreprise de consultance BIM pour des entrepreneurs généraux de classe 8 sur des très très gros chantiers ici à Bruxelles.

Doctorante : Et là du coup en consultance orientée BIM ?

R1: Oui, donc là toujours dans le secteur de la construction évidemment mais axé BIM et je faisais quand même de la gestion de chantier, donc je gérais quand même certains lots de sous-traitants en tant qu'indépendant pour l'entrepreneur général. J'avais plusieurs lots et en fait je me suis rendu compte qu'une fois que l'information était dans le modèle BIM finalement j'avais plus d'informations que les product managers eux-mêmes donc je me retrouvais à gérer les sous-traitants parce que je savais ce qu'il fallait faire alors qu'eux ne savaient plus donc c'était une situation intéressante. Et donc après un an et demi à travailler pour des très gros projets côté entreprise, l'aspect collaboratif du BIM venait émerger comme étant une évidence puisqu'à ce moment-là tout le monde était en mode "On fait un super modèle mais on ne collabore pas", c'est-à-dire on découvre un logiciel, un outil et une manière de faire mais pas du tout encore dans une logique de comment échanger l'information correctement. Donc à ce moment-là j'ai eu l'opportunité d'aller dans un bureau d'études multidisciplinaire qui avait à l'intérieur de l'entreprise des ingénieurs stabilité, techniques spéciales, des architectes, des conseillers PEB, la sécurité santé, même de la VRD donc tout ce qui est voirie et donc après architecte, entrepreneur, je me suis retrouvé dans un bureau d'études avec des ingénieurs un peu de tous les domaines avec pour objectif d'essayer de voir comment est-ce que le BIM pouvait les aider à collaborer. C'était assez laborieux et assez intéressant en même temps donc là je suis resté deux ans ou trois ans, je ne sais plus, on fera les décomptes après si c'est important mais je ne pense pas.

Doctorante : Non non ce n'est pas important c'est juste l'idée.

R1: Oui c'est l'idée, et après à la fin de cette expérience dans un bureau d'études je me suis rendu compte qu'en fait le management BIM, on recommençait à zéro à chaque fois qu'on avait un nouveau client parce qu'à chaque fois l'équipe change, à chaque fois les clients demandent, changent et donc en fait il y avait une grosse frustration, on va dire ça comme ça, du fait de ne pas avoir une vision sur le cycle de vie d'un

patrimoine immobilier et de recommencer à chaque bâtiment alors que ça n'a pas de sens puisqu'un client qui a plusieurs bâtiments il ne va pas faire différemment à chaque bâtiment et c'est comme ça que j'ai eu l'opportunité de venir chez Mon entreprise qui est un maître d'ouvrage. Ça boucle un peu la boucle parce qu'à part sous-traitant d'entrepreneur général je ne vois pas trop ce qui manque encore dans le bagage mais donc voilà après avoir fait tous ces corps de métiers-là je suis aujourd'hui chez Mon entreprise. Ça fait 13 ans que je travaille, toujours dans le secteur de la construction, ça fait un an et demi que je suis ici et où j'essaie avec toutes les difficultés de la réalité du change management, de casser les silos et de rendre le BIM collaboratif tout en amenant des systématismes, projet par projet, pour augmenter l'efficacité et voilà. J'ai beaucoup de choses à raconter là-dessus mais je pense qu'ici la question ce n'était pas ça.

Doctorante : Oui mais c'est très bien. Mais du coup en tant qu'archi il y a eu combien d'années à peu près ?

R1: 5-6 ans

Doctorante : Ok. Et en fait le BIM dans ce processus-là il est venu s'intégrer un peu progressivement sans qu'il y ait eu une formation avec un avant et un après, il n'y a pas eu un cursus BIM qui a été suivi ou un truc comme ça ?

R1: Non en fait le cursus BIM après je me suis retrouvé moi-même à donner les cursus BIM parce qu'ils sont apparus après en fait. Ce qui s'est passé pour moi, voilà c'est chacun son histoire, comme c'était le début, et que le début ça passe d'abord par la modélisation, du bol pour moi ça correspondait bien à mon parcours d'évolution professionnelle, d'abord modéliser et puis après être plus dans le management etc. Donc j'ai tout appris en autodidacte et donc au niveau formation, la formation d'architecte à Saint-Luc m'a déjà un peu aidé puisque ça permettait de, en termes d'autodidacte, de chipoter un peu on va dire. Ensuite j'ai fait vraiment autodidacte quand j'étais à Montréal, où là on m'a dit "Voilà tu débarques tiens on a un nouvel outil qui sert à modéliser en 3D, il n'y a personne ici qui sait comment on fait, toi tu débarques tu as l'air motivé de faire ça". Et donc c'était passionnant pendant une année j'ai travaillé en impérial plutôt qu'en métrique, je ne sais pas si ça te parle, en pieds et pouces au lieu d'avoir des centimètres, des mètres, quand tu es architecte c'est chaud quand même, en qwerty plutôt qu'azerty, tu peux te casser les dents aussi et du coup en l'occurrence à ce moment-là dans revit plutôt qu'en dwg, autocad et en méthode traditionnelle qu'on avait l'habitude de faire et donc j'ai tout appris comme ça. Après ce qui m'a permis, comme tremplin professionnel, à raison d'une boîte de consultant, c'est d'avoir fait la certification Autodesk, parce qu'à l'époque c'était très rare des gens qui pouvaient valider leurs compétences dans l'outil, ce sont des certifications qui valident ta compétence dans un outil spécifique ça ne veut pas dire que tu es bon en collaboration en management ou quoi que ce soit mais j'avais au moins pu certifier que pour l'utilisation de cet outil-là en tout cas "Je suis bon". Ça ça a été un tremplin et alors ensuite dernièrement, j'ai fini ça il y a justement un an et demi, juste avant d'aller chez Mon entreprise, beaucoup plus tard du coup, j'ai fait un master complémentaire à Solvay. Ça peut paraître anecdotique mais moi je considérais vraiment que c'était du BIM dans le sens où c'était un master sur la transformation digitale dans les entreprises et donc il n'y avait pas du tout de sujet sur la construction, mais en fait tous les sujets qui étaient abordés étaient fondamentalement BIM dans le sens où on parlait de change management, de méthodologie collaborative comment couper les silos dans une structure pyramidale pour en faire une structure horizontale beaucoup plus transversale, ce genre de choses... Quels étaient tous les mécanismes et tous les changements qui arrivaient dans les différents secteurs avec la digitalisation, donc tout ce qui est plutôt lié au cloud, à internet et à la connectivité donc tous ces sujets-là ont été abordés. Ils étaient abordés sur complètement d'autres secteurs: secteur bancaire, secteur... tout ce qui était de l'ordre de la livraison, le secteur de la livraison était beaucoup impacté et en fait c'est là que j'ai vraiment compris, que ça m'a ancré une conviction assez intéressante, c'est qu'en fait le BIM ne fait partie que de la 3e ou 4e révolution industrielle, on l'appelle comme on veut, et qui est en fait la mise en connectivité des personnes et ça amène des révolutions et en fait j'ai compris pendant Solvay que clairement si je prends des exemples, les taxis avec Uber et bien les taxis se retrouvent stressés, paniqués et font des manifs parce qu'il y a un autre système qui vient se mettre en



place grâce à la connectivité. Airbnb vient faire paniquer les hôtels et le secteur de l'hôtellerie parce qu'il y a autre chose qui vient se mettre en place grâce à la connectivité et en fait tu peux faire ce parallélisme-là dans tous les secteurs. D'une certaine manière le BIM c'est ça, appliqué à la construction ça vient remettre en question quelque chose de préétabli qui n'était en fait pas bien établi juste parce qu'on facilite les contacts avec la mise en connectivité et en la structurant.

Doctorante : Et du coup, la question suivante c'était "Quelle est l'utilisation du numérique dans la pratique professionnelle", tu en a déjà un peu parlé : "Utilisez-vous le BIM, à quelle fréquence et qu'en pensez-vous ?".

R1: Tu m'arrêtes si je parle trop parce que je parle beaucoup.

Doctorante : Donc on a déjà un peu abordé cette question-là mais en fait le BIM il a fait partie de ta carrière assez tôt même si sa forme a évolué au cours du temps. Mais quelque part il a toujours été là en toile de fond et il est encore là aujourd'hui forcément.

R1: Oui

Doctorante : Et de ce que tu dis je comprends que toi tu vois ça comme une évolution assez positive, ou en tout cas qui permet de créer des améliorations dans le secteur.

R1: Oui alors après aujourd'hui ce qui est plus dur pour moi c'est d'arriver à mettre des limites à la notion de BIM parce qu'en fait j'ai l'impression que les champs des possibles sont très larges mais la limite entre transformation digitale et BIM elle devient floue. D'ailleurs la plupart des salons historiquement BIM s'appellent maintenant "transformation digitale" c'est le même en Belgique. Mais donc ta question concrètement pour essayer de répondre correctement c'était "Est-ce qu'aujourd'hui je considère toujours que le BIM est une plus-value pour le secteur de la construction" ?

Doctorante : En fait qu'est-ce que tu penses du BIM de manière générale et donc est-ce que tu le vois comme quelque chose de positif ou de complexe ou de trop avant-gardiste ou qui devrait avoir plus évolué, qui devrait embarquer plus de monde... ?

R1: Oui pour les différents sous-points que tu as abordés et que je trouve assez intéressants : avant-gardiste en fait on est qu'au début, ça c'est ma conviction je pense vraiment qu'il y a un potentiel mais ça j'en suis convaincu depuis 10 ans, c'est pour ça que je suis là c'est qu'il y a un potentiel d'optimisation et d'efficacité sur beaucoup de choses qui est encore très peu imaginé aujourd'hui, je pense qu'il y a vraiment encore moyen de développer beaucoup de choses. Il y a des choses qui existent, il y a des philosophies, des points de vue qui sont là et qui existent que tout le monde a compris déjà depuis plusieurs années mais qui sont par contre très difficiles à mettre en place parce qu'il y a une inertie à l'échelle d'une entreprise ou à l'échelle d'un pays même, je pense par exemple au fait qu'on dit souvent que le BIM c'est la mise en place d'une sorte de supply chain, on va dire ça comme ça, je ne sais pas si c'est le bon terme, mais de mise en place d'une automatisation de la chaîne logistique sur les chantiers. Ça veut dire passer beaucoup plus du chantier vers le offside, que du onside et donc ça veut dire quoi, ça veut dire d'être beaucoup plus dans la fabrication, construction à sec et donc comme on construit virtuellement, on peut aller beaucoup plus facilement préfabriquer des choses puisqu'elles sont mieux étudiées en amont. Et donc le faire dans des usines plutôt que de le faire sur un chantier et que le chantier ne devienne plus qu'un endroit où on empile, enfin où on emboîte et où on assemble les choses. Donc c'est vraiment une logique de chaîne de montage. Le chantier n'est plus qu'un endroit où on fait une chaîne de montage. Et dans cette logique-là, le temps de chantier a fortement diminué puisque ce n'est plus que : on livre, on assemble. Donc après ce qu'il faut réussir à gérer c'est la livraison des matériaux qui sont fabriqués séparément. Ça c'est une des visions BIM, y en a d'autres, mais je pense que c'est une grosse c'est le changement vraiment de la manière de manager un chantier. Et aujourd'hui ben en fait ce que je constate c'est que c'est super chouette, c'est top, idyllyquement ça peut tout à fait fonctionner même techniquement franchement ça peut fonctionner, mais il y a une inertie au secteur

de la construction, ça veut dire qu'il faut changer les sous-traitants et il faut changer les gens avec qui on travaille, que les entrepreneurs doivent s'adapter... Pour que ça marche il faut vraiment qu'il y ait une ambition du maître d'ouvrage et que les acteurs derrière suivent et qu'il y ait une prise de risque en fait. Et cette prise de risque elle est pas encore là. Ça c'est ce que moi je constate. Il faut d'abord conscientiser. "Ah ouais en fait on pourrait faire ça comme avant et en avoir suffisamment la conviction que pour l'acter et après trouver les partenaires pour le faire". Mais faire du vrai changement de paradigme dans la construction c'est encore compliqué.

Doctorante : Enfin du coup on sort un peu du questionnaire mais c'est vrai qu'on dit souvent que le secteur de la construction est assez immobile, mais quelque part on a changé énormément de choses en très peu de temps. Si on regarde l'histoire de la construction qui s'étale sur plusieurs milliers d'années il y a énormément de choses ont changé très récemment enfin le papier et le crayon sont restés là tellement longtemps puis maintenant on est passé à l'ordinateur très rapidement et puis d'un coup on repasse un autre une autre forme d'ordinateur, enfin de numérique, et du coup c'est vrai que parfois ça peut être frustrant quand on est dedans au quotidien et qu'on est un précurseur et qu'on voit où on peut aller et que personne ... enfin plein de gens ne suivent pas le truc mais quelque part c'est peut-être normal en fait c'est ce que c'est vraiment si loin que ça parce que ça pose une question

R1: Honnêtement non là je suis d'accord avec toi effectivement. On voit, on peut aller, et on n'y va pas nécessairement les deux pieds dedans et fondamentalement c'est un des principes de base de tout changement, c'est que ça se fait progressivement et ça prend du temps. Le changement prend du temps, donc c'est ça et donc du coup donc je suis d'accord avec toi qu'en fait en réalité les choses avancent beaucoup plus vite que ce qu'elles ne pourraient être en réalité. Pourquoi, parce que tous les acteurs sont challengés. Ça c'est très positif je trouve ce qui se passe tout le monde se rend compte que pour rester concurrentiel il doit avancer dans sa technicité, dans son utilisation du numérique par rapport à son concurrent, et donc finalement tout le monde est pour son intérêt personnel parce qu'il y a une plus-value et donc tout le monde se challenge, tout le monde évolue donc sur certains sujets, ça avance beaucoup plus vite que ce qu'on pourrait effectivement le... Et je ne fais pas partie de ces gens qui pensent que les choses vont prendre 500 ans à évoluer, je crois vraiment que ça bouge, mais là où c'est difficile c'est donner la cohérence à l'ensemble. On sait faire bouger vite, en fait il y a beaucoup d'initiatives locales sur des objectifs BIM ou sur des applications spécifiques qui peuvent avancer très vite mais vraiment l'efficacité collaborative je pense qu'il y a encore moyen de prendre du temps pour vraiment embarquer chaque acteur mais franchement oui ça avance plus vite que... Je le vois tous les jours, nous on fait tous les chantiers maintenant, toutes les personnes avec qui on travaille, presque, pas encore tous mais presque, sont habitués à modéliser et à collaborer en modélisation. Ce qui est en soi n'est pas le final objectif mais par rapport à il y a 5 ans c'est déjà complètement différent.

20:23 > 28:19 [Définition des concepts] [Concept architecture durable]

Doctorante : On va passer à la deuxième partie qui consiste à mettre des mots derrière les termes que je vais employer après. Je voudrais commencer par te demander c'est quoi ta définition de l'architecture durable ?

R1: (rires) J'adore ce genre de questions pièges...

Doctorante : Il n'y a pas de bonnes ou mauvaises réponses.

R1: "Ne dis surtout pas que c'est juste parce que tu récupères les matériaux" (rires)

Doctorante : L'objectif de cette question-là c'est de savoir ce que les gens du métier mettent derrière ça.

R1: L'architecture durable c'est celle qu'on ne construit pas... Je caricature mais c'est dans le sens où on a pas du... si vraiment on va dans les extrêmes, la non-action sera toujours plus durable que faire quoi que ce soit. Mais donc plus concrètement blague à part, ... qu'est-ce que c'est l'architecture durable ? Il y a toujours les aspects évidemment "consommation d'énergie primaire et secondaire", qui sont un cliché, le recyclage des matériaux ou autre, mais évidemment durable c'est aussi "sociologiquement bien intégré dans son environnement", "qui répond à des besoins humains", "qui n'impacte pas trop son contexte », ... (réfléchis) Enfin voilà, j'ai quand même une vision holistique, je vais pas dire BREEAM mais je sais que c'est pas un paramètre qui fait qu'un bâtiment est durable. Moi-même j'ai une maison qui est pas parfaitement isolée, mais j'ai choisi d'habiter à proximité de Bruxelles, ce qui fait que je limite fortement mes trajets. Je peux prendre le métro et le vélo tous les jours. Donc je considère que mon habitation est durable non pas par elle-même mais parce que je limite mes déplacements. Donc les définitions c'est compliqué, pour moi c'est multifactoriel.

Doctorante : Tu as aussi mentionné un peu la circularité des matériaux ?

R1: Oui

Doctorante : Parce que c'est ce qui te semble, enfin c'est le premier truc qui est sorti, est ce que c'est ce qui te semble le plus à ta portée à mettre en place ?

R1: Oui

Doctorante : Ou le plus important à mettre en place ?

R1: Les deux. Les deux pourquoi, parce que je pense que on a déjà eu des bonnes étapes, en tout cas en Belgique, sur toute la partie "Il faut mieux isoler pour moins consommer" et je pense que ça reste tout à fait important. Donc là on fait allusion directement à l'impact de tout ce qui est consommation d'énergie, consommation gaz, gasoil ou autre qui permettent de chauffer, de refroidir et de gérer les immeubles, dans leur consommation directe. Dans leur quotidien ça reste important mais je pense qu'on a fait de gros projets, et en fait j'ai un peu la conviction de la loi de Pareto, je crois qu'on a fait 80% du chemin et qu'il reste 20%, mais qu'il faudra donner 80% d'énergie pour atteindre les 20% qui restent. Mais par contre en circularité, on est à zéro, et on a l'opportunité dans les cinq prochaines années de développer ce qu'il faut pour qu'on puisse après faire en sorte que dans cinq ans tous les projets qui sortent, je dis cinq ans pour dire une date, gagnent ces 80% d'efficacité en termes de circularité. Ça c'est vraiment une conviction que j'ai et donc là je pense qu'il y a vraiment un gain à aller chercher aujourd'hui en 2022, qu'on savait pas aller chercher en 2015 et qui sera largement acquis en 2040. Et pourquoi je pense ça, en fait on retombe sur ce que je disais tout à l'heure concernant la mise en connectivité et les changements de paradigmes qui vont toucher différents secteurs, je pense qu'aujourd'hui le fait qu'on ait mis en connectivité le secteur de la construction à travers le BIM et à travers d'autres outils, on va pouvoir partager librement grâce à internet des matériaux. On savait pas le faire il y a 10 ans, dans 10 ans ce sera tellement acquis qu'on se posera plus la question. Mais je pense qu'aujourd'hui, la circularité, pourquoi est-ce qu'on va y arriver et qu'il y a deux jours on n'y arrivait pas, c'est parce qu'on va pouvoir créer un Vinted de la construction, si je peux me permettre la caricature, où tout le monde va pouvoir facilement acheter, vendre des matériaux, à tout le monde. Et c'est une grosse grosse différence. Il y a dix ans on voulait faire de la circularité, ok. Si je fais une mise en contexte : "Je cherche trois portes en bois 90x210, basiques" Ok je vais les chercher où ? En ayant pour objectif, vraiment motivé, positif, de dire "Je veux faire de la circularité, j'ai besoin de trois portes. Ok je fais quoi ?" Ben en fait il n'y avait pas le choix, il fallait se déplacer chez ROTOR ou je sais pas qui, se déplacer personnellement, aller fouiller dans les machins et croiser les doigts pour qu'ils aient vraiment le matériel qu'on recherche. L'acheter, le ramener, le mettre en œuvre etc. Donc en termes d'énergie à mettre en œuvre pour réussir à faire de la circularité,... (souffle) C'était costaud. Et je pense qu'aujourd'hui, si on arrive à faire en sorte que le BIM soutienne en banque virtuelle de matériaux, soutienne une banque aussi virtuelle mais en ligne de matériaux partagés qui correspondent à la réalité, et que du coup via cette banque en ligne, on puisse créer des achats/ventes avec

une quantité illimitée de personnes, si j'exagère la métaphore encore une fois, mais là du coup les trois portes, on va pas avoir de problème à la trouver. On va pas en trouver trois mais 500 ou 5000 parce qu'on va pouvoir en trouver qui sont proposée par n'importe quelle personne de la ville, ou même de la ville d'à côté, sans trop de difficulté. On aura même le choix. Et donc ça devient facile, et quand ça devient facile ça devient possible. C'est un peu ma vision. Et aujourd'hui on est vraiment dans cette transition de mettre en place des plateformes de vente en ligne de matériaux, et de faire ce lien entre le réel et le virtuel. C'est en train de se mettre en place. Je pense que ça doit vraiment être un secteur, où je suis pas non plus que dedans tout le temps, où les startup doivent être en explosion maintenant, parce qu'il y a vraiment de quoi faire.

Doctorante : Si je reviens sur ma question de l'architecture durable, en fait moi je la définis de manière très large parce que c'est hyper complexe à définir en quelques phrases. Mais si je reste vraiment très large je me base sur la définition du développement durable, et donc je définis ça comme une architecture qui est socialement équitable, écologiquement soutenable et économiquement viable, en intégrant le concept de durabilité des projets dans le temps et de l'acceptabilité sociale et environnementale. En fait tu as déjà un peu ...

R1: PPP, People, Planet, Profit

Doctorante : Oui voilà. Je trouve que c'est assez parlant, et au final ça permet d'être... pas exhaustif mais d'englober énormément de choses, même si ça manque un peu de précision, ça mérite d'être creusé, mais du coup raccrocher l'architecture durable à ça moi ça m'aide à guider ma pensée. Mais donc tu les as un peu tous mentionnés, notamment du coup socialement équitable tu en as un peu parlé, économiquement tu en as un peu moins parlé mais c'est vrai que souvent c'est sous-jacent à la problématique et donc on prend même plus la peine de le mentionner.

R1: C'est sous-jacent au socialement... dans le sens où si c'est socialement viable, c'est que c'est économiquement atteignable. C'est un peu sous-jacent à la... Mais bon ça c'est un point de vue, on peut tourner ce sujet-là dans tous les sens.

28:19 > 31:34 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM]

Doctorante : Dans ces thématiques-là, est ce qu'il y en a certaines qui te semblent plus pertinentes à traiter avec le BIM ? Ou d'autres au contraire qui sont impossibles à traiter avec le BIM ?

R1: Dans la vision du bâtiment d'un point de vue durable au sens large, on s'entend hein ?

Doctorante : Oui

R1: Du coup je peux en citer une pour qui aujourd'hui je crois vraiment qu'il y a une plus-value à aller chercher en termes de circularité et BIM , de lier les deux. Je pense qu'il y a vraiment moyen d'aller beaucoup plus loin dans ce sujet-là. Il y en a plein d'autres mais qui n'ont rien à voir avec l'environnement, qui ne sont pas ... J'ai envie de sortir plein de sujets mais je sais pas s'il y a un ordre à donner entre ce qui est le plus important et le moins important ?

Doctorante : Pas spécialement, parce qu'elles peuvent avoir le même degré d'importance à certains moments.

R1: Disons que j'aime bien réfléchir macro et donc à chaque fois ce qui me semble important c'est l'échelle urbaine. Et je trouve qu'elle est complètement sous-exploitée aujourd'hui, en tout cas le BIM urbain n'est pas du tout encore quelque chose qui est en place parce qu'en Belgique on a pas encore de bouwmeester digital, j'aime bien l'appeler comme ça. Il n'y a personne qui supervise la mise en place du BIM pour la Belgique.

Puisqu'il n'y a pas d'obligation légale comme au Royaume-Uni ou dans certaines villes comme à Renne en France, où là il y a vraiment le gouvernement qui s'y intéresse. Mais je pense que l'échelle urbaine est une échelle d'optimisation vraiment nécessaire, et quand on voit aujourd'hui que si on croise en fait des datas qui sont de l'ordre de "zone inondable", "zone d'ensoleillement", "étalement urbain", "rénovation des bâtiments qui sont à l'abandon",... quand on mixe tout ça je pense qu'il y a vraiment de l'optimisation à aller chercher, plus dans une approche de bâtiment durable comme tu viens de la citer où on aura peut-être pas fait de la circularité au premier degré, mais on aura réussi à dire "beh tient, au lieu de perdre les gens dans de l'étalement urbain avec des maisons qu'on construit à 50 km des villes, beh là il y a plein de maisons qui sont pas utilisées, qui on peut replacer dans quoi, ou pour faire quoi, et donc jouer à l'échelle urbanistique je pense que c'est une réelle démarche environnementale. Je sais pas si ça répond à ta question, c'est un peu ce que moi je mettrais en deux si je sors du BIM à l'échelle bâtiment comme je disais tout à l'heure.

Doctorante : Tu as quelque chose à ajouter ?

R1: Non, après il y a évidemment tout ce qui est études solaires, impact sur le bruit, sur la consommation de chaud et froid, etc. Mais ça me semble évident quand on parle de BIM et d'approche environnementale aujourd'hui. Faire des approches analytiques thermiques et autres.

31:34 > 40:04 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale]

Doctorante : Tu as parlé un peu de durabilité sociale, comment tu le définis ? Ça doit pas être long spécialement, mais quel mot, quelle thématique, quel mot-clé on peut mettre selon toi derrière la durabilité sociale ?

R1: (réfléchis longuement)

Doctorante : Dans la construction ou de manière générale

R1: Donc pas durabilité sociale dans la construction nécessairement ?

Doctorante : Ça peut être dans la construction, mais si ça te semble pas spécialement instinctif, tu peux parler plus largement.

R1: (réfléchis) Tu viens me chercher dans mes retranchements... Parce que là on peut tomber... Je sais pas comment répondre à ta question sans tomber sur des concepts limites philosophiques en fait. Parce que là on est la limite de la discussion qui est complètement d'un autre ordre, qui est plutôt du revenu universel et d'essayer de faire en sorte que tout le monde consomme et vive de manière relativement simple et équilibrée, que pour pouvoir faire en sorte que les ressources ne soient pas trop consommées, de la planète j'entends et qu'en même temps tout le monde vive de manière heureuse et épanouie. Ce serait une sorte d'idéal de planète où tous les humains sont entre guillemet en paix, ont tous une sorte de revenu idéal minimum universel, et même si j'aime pas cette logique-là parce que ça fait appel à une sorte de notion politique, ce qui n'est pas du tout ce que je veux exprimer. Mais qui fait que les gens ne font pas la course à la gloire, à la consommation et au luxe.

Doctorante : En fait dans la durabilité sociale on peut aussi l'aborder comme la durabilité écologique, c'est à dire qu'il y a un idéal de durabilité écologique et ensuite il y a des pas pour atteindre cet idéal. Et du coup ce que je questionne dans ma thèse, c'est quelle est la place de la durabilité sociale dans les processus BIM. Parce que c'est pas ce qui est mis le plus souvent en avant en général, parce que c'est pas facile à mesurer, c'est pas facile à quantifier, et le BIM il est très bon pour optimiser des chiffres et tout ça, mais l'humain il se chiffre difficilement, et du coup c'est vraiment ce que je creuse. Donc en fait pour ça j'ai une petite fiche.

R1: J'adore parler avec des gens comme toi parce que souvent dans mon quotidien, dans ce que je fais, à essayer de changer moi-même le monde à ma petite échelle d'entreprise, je me sens taré tu vois, et je me dis "t'es complètement fou". Et alors quand je vois que ton objectif c'est d'aller... répète-moi la phrase parce que c'était magnifique, c'est d'aller chercher la manière dont le BIM impacte le... non ?

Doctorante : En fait je pense que le BIM ça fait partie de demain...

R1: (me coupe) je te rassure je dis ça positivement, je suis pas en train de te casser, j'en rigole parce que voilà

Doctorante : Je pense que le BIM ça fait partie de demain et donc on doit faire avec, qu'on aime ou qu'on aime pas. Parce que dans les archis il y a quand même une sorte de scission, enfin dans les archis, je veux dire dans les concepteurs de manière générale, il y a des gens qui accrochent complètement, il y a des gens qui...

R1: Qui refusent oui...

Doctorante : Oui qui détestent le truc, qui ne veulent pas, puis il y a un entre-deux qui ne sait pas encore trop. Et moi je pense qu'on va devoir faire avec qu'on le veuille ou non, et du coup je trouve ça assez primordial qu'on tienne compte aussi de cette part de durabilité sociale, parce que si on doit partir dans cette direction, on peut pas oublier... si on se rend compte que justement ça marche pas trop en termes de durabilité sociale ou qu'en tout cas il y a rien qui se passe, pour moi ça ne va pas, il faut mêler ça et ça doit faire partie du train. Donc j'essaie de voir comment le BIM peut servir cette durabilité sociale et pour l'instant il n'y a pas énormément de recherches là-dessus. Mais il y en a quand même, et donc j'ai fait une petite fiche où on a regroupé en quelques thématiques quels étaient les critères de durabilité sociale, donc ça c'est la première colonne, et comment le BIM pouvait œuvrer pour ces critères, celui qui est le plus étudié, qui revient le plus souvent, c'est celui de la sécurité, notamment la sécurité sur chantier. Donc en fait avant de rentrer plus dans le tableau, volontairement j'en parle que maintenant après une demi-heure d'interview.

R1: Il y a pas de problème, c'est un cheminement.

Doctorante : Parce que j'ai besoin de savoir si c'est quelque chose qui ressort de manière naturelle ou pas, mon préjugé c'est que non, ça ressort pas de manière naturelle, malgré ça t'en a quand même un petit peu parlé en fait, parce que tu as évoqué... je ne sais plus les termes mais tu l'as évoqué... "sociologiquement intégré dans l'environnement"

R1: Oui je l'ai abordé au moment où tu m'as demandé la définition de développement durable ou d'architecture durable. Alors je pense que c'est aussi une question de parcours professionnel, c'est que je suis architecte. Tu demanderais ça à un ingénieur, ou un entrepreneur, il penserait pas forcément comme ça. Le métier même de l'architecte c'est de faire des bâtiments pour les gens, que ces bâtiments ne soient pas uniquement jolis et esthétiques mais qu'ils soient sains, et qu'ils répondent à ne pas dégrader leur environnement etc. Donc c'est peut-être mon parcours qui m'a fait directement penser à ça. Parce que si le BIM permet de faire des bâtiments de meilleure qualité, c'est aussi, au niveau conception, positif pour les gens.

Doctorante : C'est vrai que ça fait partie intégrante du travail de l'architecte, et du coup la question peut sembler inutile, mais la réalité c'est qu'aujourd'hui les équipes de conception se diversifient énormément, et donc il n'y a plus forcément que des architectes, et en plus comme on manipule un outil qui ne met pas spécialement en avant ce genre de problématiques, on peut se laisser aspirer et ne pas... l'outil ne favorise pas la prise en compte de ça de manière...

R1: Non tout à fait, il y en a même qui sont détracteurs du BIM en disant que le BIM a tendance à normer certaines choses et finalement on va tous faire... du Thomas et Piron mais je ne peux pas les citer... (rires) Mais donc voilà c'est pas effectivement l'aspect qualitatif, qualité de l'architecture, versus BIM , c'est un

débat qui a déjà souvent lieu. En mode "c'est plus facile de prendre des objets et de les taper dans le modèle, et puis c'est de la merde mais c'est pas grave". Mais je pense que ça reste un outil, et en fonction de l'état d'esprit et de la personne qui commande le projet derrière, que ce soit le maître d'ouvrage ou l'architecte, ou tous les intervenants, en fait au final moi je vois aucune perte de qualité architecturale, je ne vois que du gain. Parce qu'en fait ceux qui voulaient faire de la merde, ils vont toujours faire de la merde, et ceux qui veulent faire de la qualité, ils feront toujours de la qualité en fait, c'est vraiment... C'est juste un outil et ça parfois on l'oublie, c'est un moyen, un outil, ... je sais pas comment on doit l'appeler... Un processus etc. Mais en fait si tu veux bien faire, ça t'aide comme un crayon t'aidait avant, différemment, avec plus d'automatismes etc, mais c'est pas le crayon qui décide si tu veux faire les choses bien ou pas.

Doctorante : Oui je suis tout à fait d'accord avec ça. Du coup, là ce qu'on va faire c'est qu'on va rentrer un peu dans le tableau en expliquant chaque thématique. Je vais essayer de pas m'étaler trop parce que parfois cette partie prend trop de place. Après une fois qu'on aura mis des mots derrière ce que j'appelle la durabilité sociale dans les pratiques BIM, je vais questionner ta pratique pour savoir si tu as déjà eu à faire à ça, est-ce que tu as à faire à ça maintenant, est-ce que tu penses y avoir eu à faire dans le passé, c'est vraiment "passé, présent, futur et idéal".

**R1: Pour chaque point ?**

Doctorante : Pas spécialement pour chaque point mais s'il y en a qui ressortent de manière plus intéressante ou plus évidente pour toi... Alors le point qui est le plus étudié c'est en général la sécurité, et donc tout ce que je montre là dans la deuxième partie du tableau c'est des éléments qui ressortent de plusieurs études, donc je mentionne deux études en référence mais ce sont des études qui sont des compilations de plusieurs études elles-mêmes donc ce sont des grosses synthèses générales de ce qui se passait à ce niveau-là. Ce n'est pas exhaustif, et donc mon objectif c'est aussi éventuellement faire ressortir des applications auxquelles moi je n'ai pas pensé à travers mes analyses théoriques. Parce que moi je suis vraiment coté théorie, j'ai pratiquement aucune expérience de terrain et donc parfois il y a des choses dont je ne suis pas consciente, qui sont pas possibles, pas réalistes, ou qui pourraient se faire mais auxquelles je ne pense pas parce que moi j'ai pas cette expérience-là.

**R1: Yes, c'est l'intérêt de venir voir des gens.**

Doctorante : Oui c'est exactement ça.

**R1: Faire un doctorat tout seul... C'est possible mais c'est pas très valorisant.**

Doctorante : Et puis c'est pas très marrant non plus.

**R1: Non plus.**

40:04 > 49:15 [Sécurité]

Doctorante : Dans le critère de sécurité ce qui est souvent mis en évidence c'est l'utilisation des données des chantiers précédents pour pouvoir identifier des accidents qui arrivent fréquemment et pouvoir les éviter à l'avenir, c'est aussi vérifier les règles de sécurité avec les ouvriers, donc en fait ce critère de sécurité est fort axé sur la phase chantier. Pouvoir estimer le coût des équipements de sécurité, localiser sur le chantier en temps réel les ouvriers et les équipements, pouvoir utiliser des capteurs dans les casques des ouvriers justement pour les localiser, et l'objectif de localiser les ouvriers sur les chantiers c'est de pouvoir vérifier qu'ils se trouvent bien là où ils sont sensés se trouver et qu'ils sont pas à proximité d'une zone dangereuse pour laquelle ils sont pas habilités à travailler sur cet endroit.

**R1: Et pas pour voir qu'ils foutent rien... (rires)**

Doctorante : Ça on ne sait pas le voir, on sait juste voir où ils se trouvent.

R1: Ça dépend de l'appli mais je t'avoue que les réticences sur ce sujet... Elles sont souvent sur le "on va savoir ce que je fais, où je suis" abus de... (réfléchit)

Doctorante : D'une certaine manière ça touche à la protection des données en fait

R1: Oui voilà, j'allais le dire

Doctorante : C'est un peu "Big brother". Il y a aussi la visualisation des espaces de sécurité qui sont requis pour manipuler des équipements, identifier les conflits horaires donc c'est ce que je disais tout à l'heure, entre les équipes et les équipements lourds, la gestion des interventions en cas d'incendie, et l'entraînement et la formation des usagers à la sécurité, donc c'est un peu le seul point qui sort de la phase chantier. Je sais pas si tu préfères réagir après chaque point ou qu'on les lance tous ?

R1: Non je vais faire après chaque point. Ici c'est quoi le ... qu'est-ce que tu attends de moi concrètement ?

Doctorante : Est-ce que ça te parle, est-ce que c'est quelque chose que tu as déjà utilisé ou expérimenté, donc par le passé, est-ce que c'est quelque chose que tu fais encore maintenant ou qui pourra se faire plus tard...

R1: Ah oui c'est ça, passé présent futur, c'est ça que tu voulais à chaque fois

Doctorante : Oui c'est ça.

R1: Concrètement je pense que c'est un sujet qui est majoritairement sous la préoccupation des entrepreneurs. Donc si quelqu'un va lancer des développements, parce qu'aujourd'hui on est dans une phase où beaucoup de choses sont en développement, en recherche etc, donc je pense que si quelqu'un veut lancer des développements et mettre ça à profit, celui qui aura le plus d'intérêt c'est l'entrepreneur. Donc moi aujourd'hui en tant que maître d'ouvrage c'est une très bonne remarque parce que j'y pensais même plus, en toute honnêteté avec moi, je pensais même plus à demander ce genre de chose dans les cahiers des charges BIM. Alors que je sais que c'est faisable, à l'exception quand même d'une chose quand tu dis "passé présent et futur": dans le passé dans une expérience professionnelle passée j'ai déjà essayé d'expérimenter ça, un des points que tu as ici, "expérimenter l'implémentation des équipements de sécurité dans le modèle BIM". Au même titre que les autres disciplines finalement. Pourquoi on modélise l'architecture, la stabilité et les techniques spéciales, et pas les harnais, les lignes de vie, les escaliers de secours etc. Aussi simple que ça . Et donc pas en préventif chantier mais comment le bâtiment va être construit d'un point de vue sécurité, et comme ça le jour où on va avoir besoin de l'information, on a tout vraiment bien modélisé et comme ça on sait exactement que là-bas il y a une ligne de vie, là-bas il y a une échelle de secours et on est capable de le voir. Or c'est des choses qui ne sont pas modélisées fondamentalement, ni par l'architecte ni par quiconque historiquement. Donc ça je l'ai déjà proposé... enfin on l'a déjà fait dans mon métier précédent, du coup en impliquant les personnes responsables de la sécurité, ce qui nécessite du coup de la formation et ici je pense que t'as un sujet où malheureusement les personnes qui sont responsables de ça ne sont pas du tout impliquées dans le BIM. Et je pense que c'est là où il y a un frein dans le schème du management dans l'évolution des choses, c'est que l'entrepreneur général pourrait lui faire des choses, mais en chantier donc, mais en termes d'études les spécialistes de sécurité ne sont pas nécessairement formés pour devenir des consultants etc. Mais je vais pas me perdre, donc passé déjà expérimenté mais uniquement les équipements de sécurité intégrés au bâtiment déjà construit. Au niveau chantier, on le fait et on l'impose sur tout mes projets à une dimension minimum, c'est à dire on demande aux entrepreneurs, donc la je parle pour aujourd'hui, d'un point de vue maître d'ouvrage, on demande d'un point de vue BIM aux entrepreneurs de modéliser leurs équipements de chantier. Donc pas nécessairement d'aller vraiment dans le temps avec le déplacement des échafaudages etc, enfin des échafaudages, des gardes-corps provisoires et autres, mais d'installer quand même dans le modèle BIM des grues, des zones de sécurité, les zones de stockage et ce genre de choses. Au niveau de l'installation de chantier général, telle qu'elle devrait être normalement pendant toute la durée du chantier. Donc ça c'est du présent. Donc on a un modèle BIM, je pourrais te



montrer, d'aménagement complet du chantier sur un gros projet de tours d'immeubles. Tout est là et maintenant on attend à ce que ça arrive sur tous les projets qui vont suivre. Au niveau futur, pour l'instant j'ai pas mis l'ambition plus loin que ça. Mais c'est vrai que l'ambition idéale dans un second temps, que je verrais, c'est d'intégrer la notion de temporalité. Et de dire "Beh oui ok, on vous a demandé d'abord de mettre vos installations de chantier pendant la phase de préparation des travaux, où vous prenez possession du modèle BIM, où vous intégrez votre préparation de travaux, où sont les grues où sont les stockages etc", ça c'est ce qu'on demande pour l'instant. Et dans un temps deux, si les compétences évoluent, les moyens etc évoluent, ce sera d'y intégrer la notion de temps, et donc de faire en sorte que quand on fait l'évolution d'un planning 4D, on va dire ça comme ça, qu'il n'y ait pas uniquement un planning 4D sur les éléments qui vont être construits, mais aussi sur tous les éléments provisoires qui vont servir à construire. Aujourd'hui ça on ne le demande pas. Donc comme je le disais les échaffaudages, les gardes-corps, ce genre de choses. Parce que ça me semble... Je sais que certains le font mais ça me semble un gros travail. Donc voilà. Et à chaque fois le travail il faut... la difficulté c'est de trouver les entrepreneurs qui sont capables de ça et qui vont pas ne pas remettre prix juste parce qu'ils veulent pas faire ça. Donc il y a une question de maturité du secteur. Et niveau futur je crois que j'ai répondu.

Doctorante : Ma dernière catégorie c'est "dans l'idéal, sans aucune contrainte". Parce que là du coup par exemple on a parlé de la contrainte des ouvriers qui pourraient ne pas vouloir qu'on sache où ils se trouvent sur le chantier, même si c'est pour leur sécurité mais ils pourraient ne pas avoir envie. Mais dans l'idéal est ce qu'il y a d'autres applications qui te sembleraient, si vraiment on enlève toutes les contraintes du fait qu'il y a pas de demande du maître d'ouvrage, que financièrement ce serait pas possible, que les gens ne seraient pas partants, si on se dit qu'on est vraiment dans un monde parfait où tout le monde est emballé par le projet et qu'on s'en fout du côté financier, est-ce qu'il y a des éléments qui te sembleraient... des applications qui existeraient même si ça nécessiterait de faire des recherches et tout ça ?

R1: Comme je l'ai dit, en BIM j'en vois plein, développables ou développées ou que sais-je, la première chose ce serait d'avoir en cas d'incendie une mise à disposition directe du modèle BIM et aussi en réalité augmentée pour les pompiers, et qu'ils puissent directement identifier, si on modélise tout ça, on met du sprinklage etc, c'est super c'est chouette hein, il y a toute l'info qui est dedans, mais après encore faut-il la communiquer au moment où les gens qui interviennent vraiment pour le secours et la sécurité puissent y avoir accès facilement. Et si c'est pas facile, si c'est pas intuitif, ça ne sert à rien pour des métiers de la sécurité. Donc je pense que la facilitation est un point crucial, et donc je pense que la réalité augmentée peut peut-être jouer un rôle là dedans . Autant en temps réel sur chantier, que pour des interventions externes. Je sais pas si ça répond à ta question ?

Doctorante : Oui oui. Je sais pas si tu veux ajouter quelque chose ou si on passe au point suivant ?

R1: Je sais que ton temps est limité donc je préfère qu'on avance quand même car si je réponds pas à la moitié des questions ce sera plus embêtant que... Enfin s'il faut tu reviens une autre fois, j'ai pas de problème.

Doctorante : Oui ça va.

49:15 > 59:37 [Confort des usagers]

Doctorante : Du coup le point suivant c'était le confort des usagers. Les points qui étaient abordés c'étaient la collecte des données qui sont liées à l'occupation du bâtiment, la simulation de l'éclairage naturel, l'identification des causes d'inconfort liées à l'agencement des espaces donc là c'est vraiment de l'assistance à la conception, le monitoring de la production d'électricité et de chauffage, c'est quelque chose qui est peut-être le point le plus présent dans cette catégorie de confort des usagers, l'estimation des coûts liés à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers.

R1: (réfléchi) Encore un sujet où tout est pertinent évidemment, je vais garder le focus avant, pendant, après. Au niveau avant, simulation de l'éclairage naturel, moi ça fait 3-4 ans mais après il y a ce qui est possible et il y a le fait de le faire. Ça fait déjà 3-4 ans que j'ai bien analysé la possibilité de faire par exemple des interactions directes entre un modèle BIM et un simulateur d'éclairage comme un dialux evo ou même intégré dans un logiciel natif ou autre. Donc ça je pense que c'est devenu du présent pour plusieurs bureaux d'études, malheureusement ça doit encore rester une minorité mais je pense que ça c'est du présent. Donc simulation de l'éclairage naturel je pense que ça doit devenir acquis c'est vrai que je réalise que je ne le pousse pas non plus mais ça devrait être un truc qui devrait être imposé chez nos bureaux d'études. Donc ce sujet-là pour moi il est acquis et au niveau du développement pour parler de taux on est à 80%, il y a encore des choses à faire mais ceux qui se plongent dans le sujet ont les moyens d'y arriver. Ensuite, "collecte des données liées à l'occupation du bâtiment", on est dans une vision plutôt user centric, ça je pense qu'il y a un gros changement qui va s'opérer dans le secteur de la construction, c'est l'intégration du smart et du coup une fois que le smart s'intègre au modèle BIM, évidemment les deux ensembles vont avoir une énorme plus-value, ça veut dire qu'on va arriver à des bâtiments qui au lieu d'être monitorés exclusivement par un facility manager externe, les personnes auront de plus en plus facile à interagir avec le bâtiment grâce à leur smartphone, grâce aux objets connectés, l'IOT etc. et que le modèle BIM peut servir de support à bien comprendre les choses, donc le confort peut augmenter, ça peut avoir un impact sur l'environnement autant négatif que positif donc on va se limiter au titre, au niveau du confort je pense qu'effectivement ça va permettre d'aider les choses. Si c'est couplé avec de la technologie smart, le BIM, tout seul ne va pas, ... "Identification des causes d'inconfort liées à l'agencement des espaces" et "monitoring de production d'électricité et de chauffage", en fait je regrouperais les deux pour moi c'est l'optimisation du monitoring, qui est quelque chose qui a toujours existé mais qui va se faire plus dans une vision plus digitale où on va mieux comprendre parce qu'on va pouvoir visualiser, et quand on comprend mieux et plus facilement on peut rendre l'accès à plus de monde donc ça je pense que dans la vision passé, présent, futur, tous ces aspects d'optimisation énergétique, de confort, d'agencement des espaces, de monitoring, etc... Historiquement ils étaient dans la main d'un expert, là où le BIM va amener une plus-value c'est que ça va permettre peut-être, de nouveau en digital twin, d'aider à la compréhension et de rendre ça aussi smart, pour prendre un terme un peu générique, plus accessible et donc de permettre aux utilisateurs eux-mêmes, de comprendre leur impact sur le bâtiment de chauffage, de froid, de confort, etc. et du coup d'avoir un impact environnemental parce qu'ils vont s'auto challenger ou se challenger avec d'autres personnes. A nouveau le BIM va amener une facilité mais n'est pas le centre, j'ai déjà vu un projet il y a déjà même 10 ans, en Suisse, il n'y avait pas de BIM c'était un nouveau quartier résidentiel avec vraiment une démarche environnementale très poussée et ils avaient mis au centre du quartier un local avec des écrans où ils montraient les consommations d'énergie de tous les habitants, et du coup les habitants pouvaient aller consulter leur consommation par rapport à leurs voisins et du coup se challenger entre eux pour essayer de consommer moins que leurs voisins et se dire "Tiens pourquoi moi je consomme plus que toi alors qu'on a la même baraque ?". Donc ça je pense que ça pourrait se faire sans le BIM mais que le BIM va pouvoir permettre de faciliter ça et d'amener ça à travers des outils beaucoup plus intuitifs. Et "l'estimation du coût lié à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers", ça n'existe pas encore réellement, je pense que c'est un sujet quand même assez compliqué, dans l'avenir je pense qu'à l'avenir à moyen ou court terme je pense que c'est le public, c'est les villes, je donnais l'exemple de la ville de Rennes qui est un très bon exemple je pense, c'est les villes qui vont mettre en place des outils de BIM urbain ou gis, on l'appelle comme on veut, pour faciliter cette vision-là parce que ce ne sont pas les gens eux-mêmes qui vont pouvoir se plonger dans ce genre d'outils. Et ça a un intérêt à l'échelle urbaine en fait, c'est un point de vue je ne sais pas s'il est bon ou mauvais, de nouveau tout ce que je dis là c'est spontané et sur base de mon expérience personnelle.

Doctorante : Il n'y a pas de bon ou de mauvais, c'est ça qui est bien.

R1: Ce n'est pas moi qui vais être pété à la fin non ça va ? Ok, je te laisse continuer comme ça, parce que je sais bien qu'au niveau timing on va, 15h30, on avait dit quelle heure ?

Doctorante : 16h.

R1: Oui c'est ça.

Doctorante : En fait une fois qu'on a fait le tour de ces points sur la feuille, avec ce concept de passé, présent, futur, idéal, après on a fini donc je pense ça ira mais c'est vrai que ça va être juste mais ça ira. Donc dans cette catégorie-là, pour la terminer, pour la partie monde idéal, ce que tu as dit tu ne l'as pas verbalisé en le mettant dans l'idéal mais ce que j'ai mis dedans c'est la compréhension de la consommation des usagers par les usagers eux-mêmes parce que pour l'instant ils ne font pas cette propre analyse là.

R1: C'est très compliqué oui.

Doctorante : Je ne sais pas si tu en as un autre qui te vient à l'esprit pour ce sujet-là ?

R1: Que je mettrais au-dessus de la pile tu veux dire ?

Doctorante : Qui serait quelque chose qui n'existe pas encore ou très peu mais qui a un potentiel à se développer. La réponse peut être non parce que ce n'est pas forcément évident de se projeter comme ça sans y avoir réfléchi à l'avance

R1: Oui, c'est vraiment dans une logique de confort que je vais répondre, ce n'est pas nécessairement positif pour l'environnement parce que je n'arrive pas à en mesurer les impacts d'un point de vue environnemental. Ce que je suis persuadé c'est que le BIM avec le smart, ensemble vont amener la notion de digital twin qui permettra plus aisément avec, comme je le disais, un gsm ou une tablette ou quoi que ce soit à l'utilisateur, en général grâce aux appareils connectés, à un moment de beaucoup plus directement, rapidement réagir avec son environnement, en termes de chaud de froid, de lumière, un tas de trucs parce que ça aura des impacts positifs, négatifs, d'un point de vue purement humain ça devrait être positif puisque ça facilitera les choses mais comme ça n'existe pas encore réellement on ne sait pas en juger vraiment les impacts, tu comprends l'idée ?

Doctorante : Oui, oui.

R1: Parce que là tu prends ton téléphone, tu es dans cette pièce-ci, tu sais te balader dans le bâtiment dans le modèle BIM qui aura été simplifié pour un utilisateur lambda, tu vois où tu es parce que tu es géolocalisé et après tu cliques sur les lampes, tu dis "celle-là je l'allume, celle-là je l'éteinds". Ca se fait déjà d'ailleurs sur tout ce qui est smarthome et autres, mais pas intégré au BIM aujourd'hui en tout cas.

Doctorante : En fait le risque avec ce genre de choses c'est voir où est la limite, parce qu'en fait tout est faisable mais il y a peut-être des choses qui ne sont pas pertinentes à faire.

R1: Oui qui ne sont pas pertinentes ou qui ne sont pas au final positives par leur impact.

Doctorante : Parce qu'en fait il y a le côté stockage de données dont on ne parle pas souvent, on en parle de plus en plus mais bon voilà.

R1: C'est un aspect, il y en a plein d'autres mais c'est une des raisons pour laquelle j'ai dit, il y a moyen de faire chouette mais est-ce que ça a du sens.

Doctorante : Il faut essayer de le faire, sans le faire pour l'innovation, mais parce que ça a un intérêt.

R1: Exactement, s'il y a une plus-value derrière et du sens, s'il n'y a pas de sens ça ne sert pas à grand-chose. C'est un sujet pour lequel je n'ai pas encore la réponse.

Doctorante : Mais je pense que personne ne l'a pour l'instant vu que c'est très compliqué parce qu'en général on s'en rend compte qu'une fois que c'est fait.

R1: En fait je pense qu'il y a du sens pour des organismes comme mon entreprise à l'échelle où on est encore avec des professionnels qui vont avoir leur travail facilité. Mais jusqu'à aller à voir l'utilisateur se balader dans le bâtiment et machin, ça se manifestera sûrement sous une forme qu'on n'imagine pas aujourd'hui.

59:37 > 1:04:51 [Processus d'apprentissage]

Doctorante : Le point suivant c'est les processus d'apprentissage pour les étudiants et les professionnels de la construction et donc ce qui est mis en évidence là-dedans c'est le fait de pouvoir visualiser les espaces, d'améliorer la compréhension de l'aménagement des espaces, apprendre les principes de construction durable par simulation. Dans ce point-là il y a vraiment deux parties, c'est pouvoir avoir un support de communication qui peut s'apparenter à ce qu'on faisait avant avec la maquette physique, sauf que la maquette il fallait la recommencer à chaque fois que l'on faisait un changement d'échelle ce qui était assez chronophage alors qu'ici on peut juste aller de plus en plus en profondeur tout en ne recommençant pas spécialement de zéro et puis pouvoir communiquer, du coup enseignant et étudiant, en parlant de la même chose puisque lorsqu'on commence à apprendre les espaces ce n'est pas forcément évident de se faire comprendre. La deuxième partie c'est vraiment le fait de pouvoir manipuler cette maquette pour faire des simulations et pour que l'étudiant puisse de manière autonome tester les choses alors qu'avant, dans un système classique, il faut peut-être une maquette physique sur laquelle j'imagine apprendre les appuis, les différents types de matériaux, leur conséquence en termes d'appui et tout ça, peut-être qu'avant tu es obligé de faire ça avec ton professeur en face ou avec une maquette pour tester, la maquette en bois, la maquette en acier, tester les deux, et là tu peux peut-être le tester de manière virtuelle et chez toi sans forcément être toujours dépendant d'être dans un labo pour le faire.

R1: Ou réellement sur chantier. Donc ça moi effectivement dans les trois que tu mets là, pour moi le seul qui ait vraiment une vision avec une réelle plus-value c'est le troisième. C'est peut-être parce que les deux autres sont déjà acquis, tu parlais de passé, présent, futur, peut-être parce qu'il y a dix ans le fait de passer en BIM tout d'un coup, « ah oui mais tu te rends compte la force on va pouvoir visualiser les espaces beaucoup mieux qu'en 2D sur les plans », mais en fait oui, ça, c'est déjà acquis et je pense « amélioration de la compréhension de l'aménagement des espaces » aussi. Donc en fait ce que demain a encore une plus-value à être développé réellement c'est toute la partie simulation et apprentissage par immersion virtuelle. Je voulais en parler dans la partie sécurité, j'ai oublié de lever le point, j'ai vu plusieurs exemples de développement en cours, de mise en application de cursus virtuel avec des engins de chantier très lourd et très dangereux comme des simulateurs en fait, des simulateurs d'apprentissage d'engins de chantier je pense que c'est très pertinent, ça supprime tous les risques, on est dans un local protégé et on manipule des grues qui font plusieurs tonnes. Je pense que c'est la même chose pour l'apprentissage des professionnels de la construction c'est qu'en fait virtuellement on peut générer l'accès à une base d'informations et de manipulations qui sont illimitées, pour peu qu'on s'en donne les moyens, qui nécessiteraient en vrai d'aller toujours chercher les matériaux, trouver des vrais partenariats qui n'auraient pas du tout le même budget d'investissement au départ donc je pense vraiment qu'il y a une énorme plus-value à aller chercher de ce côté-là.

Doctorante : Si je pars dans l'idéal, est-ce qu'il y a quelque chose que le BIM pourrait offrir à la formation des futurs architectes et qui n'est pas vraiment exploité pour l'instant ?

R1: La réalité de mise en oeuvre.

Doctorante : Dans quel sens ?

R1: Dans le sens où la notion de temps est difficilement perceptible dans les études d'architecture. Tu parlais d'exemple, d'avoir des beaux détails techniques, de comprendre les compositions de mur etc. mais en fait en architecture on va voir tout ça, on va voir comment on fait une cloison en bois avec de l'isolant, un super pare-vapeur, des plaques de gyproc etc. Mais toutes les étapes pour la monter, même si ce n'est pas le boulot

de l'architecte, c'est le boulot de l'entrepreneur ou de son spécialiste, tout le côté technique concret de comment on fait, aujourd'hui le seul moyen c'est d'aller sur chantier, d'aller voir ce que les autres font. Je pense que si on avait ce genre de moyen de simuler la manière dont on construit réellement step by step tout une série de choses, on les comprendrait beaucoup plus vite et beaucoup plus facilement . On pourrait se dire "Ah oui ça, ça se met avant ça et en fait, du coup ça oblige à faire ça et il faut le mettre avant parce que sinon après tu ne sais plus faire ça" etc. La notion de chronologie dans un chantier elle est super importante et elle n'est pas facilement apprentissable autrement que sur un chantier où on se doute bien qu'il faut mettre la structure en béton avant de mettre les briques etc. Mais la réalité d'un chantier est parfois plus subtile.

Doctorante : C'est vrai

1:04:52 > 1:08:53 [Patrimoine culturel]

Doctorante : Le point suivant c'est le patrimoine culturel. Donc là on est vraiment sur deux facettes, d'un côté « modéliser les bâtiments à différentes époques » et donc pouvoir avoir des bibliothèques numériques des bâtiments historiques donc ça se rapproche un peu avec le point "Apprentissage" et de l'autre côté il y a la partie surveillance des bâtiments, « maintenance et entretien des bâtiments » et puis « réduction des coûts de maintenance ». Du coup, là c'est plus spécifique aux bâtiments patrimoniaux je ne sais pas si tu as déjà travaillé sur ce genre de bâtiments.

R1: J'ai un ami qui est à fond là-dedans. Moi ce n'est pas ma spécialité du tout le patrimoine mais je suis quand même architecte de formation et j'ai quand même une affinité. De nouveau on peut facilement dire que tous les sujets sont importants, c'est toujours un peu facile mais si vraiment il faut faire des choix... (réfléchit) Dans le cadre du patrimoine si vraiment je dois mettre des priorisations, le premier me semble le plus important, c'est de mettre à profit, et ça existe c'est juste qu'il faut le faire et qu'il faut que quelqu'un s'en occupe, c'est de mettre à profit la modélisation ou les outils parce qu'on ne peut même plus parler de « 3D captur » comme de « scan 3D » ou de « nuages de points » etc. Pas nécessairement besoin de modéliser, mais de sauvegarder virtuellement l'existant au cas où il y aurait une guerre, un effondrement ou que sais-je, on l'a bien vu avec la cathédrale de Paris et je pense que le fait d'avoir au préalable de manière tout à fait innocente fait un relevé complet avec un nuage de points détaillé de toute la cathédrale a été très très très utile pour eux, même si je n'ai pas suivi le sujet, pour pouvoir ensuite intervenir sur de la rénovation et de la réhabilitation. Donc je pense que la notion dans le patrimoine, si on a un peu la fibre, je pense que la protection et la sauvegarde de l'histoire passe avant le reste parce que surveiller les bâtiments on n'a pas besoin du BIM pour ça, même si c'est pour surveiller s'il se détériore ou pas, je ne suis pas sûr qu'un scan récurrent serve à quelque chose, la tolérance est plus subtile que ça. Maintenance et l'entretien des bâtiments... ha oui mais là on n'est pas nécessairement dans du patrimoine classé UNESCO on est dans du patrimoine au sens large.

Doctorante : Oui.

R1: Même si tu as quand même mis patrimoine culturel ?

Doctorante : Oui. Parfois ça peut être, culturel c'est large en fait ça ne veut pas forcément dire que ça a été reconnu par une quelconque entité.

R1: Oui oui tout à fait.

Doctorante : On peut passer au point suivant si tu veux et s'il y a des choses...

R1: Je vais garder mon point de vue parce que je pense qu'en fait les trois autres points que tu mets en fait ce n'est pas nécessairement lié au patrimoine c'est quelque chose qu'on aurait pu retrouver dans d'autres catégories et qui sont typiques de la gestion de projet BIM aujourd'hui. Est-ce que le BIM sert à optimiser la

maintenance ou pas, et du coup on est plus dans l'aspect énergétique, est-ce qu'on sait réduire les coûts de maintenance parce que ce n'est pas forcément lié à... enfin oui. Tu me poses des questions compliquées, tu ne peux pas venir avec "Choisi entre bleu et blanc" et c'est réglé ?

Doctorante : Après je peux envoyer la fiche par pdf s'il y a des choses qui te...

R1: J'aime bien, ta liste est chouette, elle n'est peut-être pas complète mais elle est chouette.

Doctorante : Ca j'en suis sûre qu'elle n'est pas complète c'est justement pour ça que je fais ces entretiens, pour compléter parce que ça c'est uniquement ce qui est issu de l'état de l'art de ce que j'ai pu trouver jusqu'à présent.

1:08:52 > 1:12:22 [Communication avec les usagers]

Doctorante : Du coup le dernier point c'est tout ce qui concerne la communication, j'allais dire collaboration c'est un lapsus.

R1: Avec les usagers.

Doctorante : Oui, usagers et acteurs du projet en fait j'ai scindé les deux mais quelque part, parce qu'ils sont différents mais c'est la communication au sens large. On va peut-être traiter les deux en même temps parce que là il ne nous reste qu'une dizaine de minutes.

R1: Visualisation partagée des solutions proposées et toi tu distingues ça d'intégration de la participation citoyenne, comme tu dis c'est la même chose non ?

Doctorante : Pas forcément parce que tu peux partager une vision, admettons qu'on pourrait utiliser la maquette BIM pour pouvoir faire de la consultation quand on fait un nouveau bâtiment et qu'on fait une enquête pour demander l'avis des gens, ils vont pouvoir consulter sans pour autant dire qu'ils vont participer de manière active à tout le processus du projet.

R1: Tout à fait, ma préférence va pour le deuxième exemple et je t'invite encore une fois à aller voir le développement de la ville de Rennes parce que c'est un de leurs objectifs dans leur développement urbain, c'est de permettre l'intégration des citoyens dans les discussions à chaque nouveau projet, ça vaut la peine. En termes finalement de durabilité sociale là pour moi il y a un enjeu clair, c'est de réussir à intégrer beaucoup plus les citoyens dans les discussions, évidemment pour les auteurs de projets, architectes et autres c'est toujours un risque puisque qui dit plus de personnes à débattre dit plus de risques d'avoir des freins mais en même temps c'est aussi une force parce que parfois on a des feedbacks et des retours qui peuvent amener des solutions innovantes et intéressantes qu'on n'aurait pas imaginées au début.

Doctorante : C'est quelque chose que tu as déjà expérimenté dans le fait de consulter ou en tout cas communiquer avec les usagers via la maquette BIM.

R1: J'y aspire et donc effectivement j'avoue que moi-même chez Mon entreprise pour l'instant pas, mais je suis en train de mettre en place dans ma fonction, et du coup je suis content que tu me poses la question, je me dis que je ne suis pas si à côté de la plaque. Je suis en train de mettre en place un modèle BIM urbain de tout Bruxelles, justement parce qu'on a des projets un peu dans tout Bruxelles, qui servent autant pour nous que, en fait, pour montrer vers l'extérieur et donc du coup à l'urbanisme et aux organismes publics ou privés qui interviendraient et donc pour ça il faut un contexte. Et généralement les gens font du BIM sans contexte ou ils font un contexte à 50 mètres, ça n'a pas de sens d'un point de vue urbain et donc voilà moi j'ai commandé ça à des externes, je l'ai déjà fait pour un ou deux projets, je pourrais te le montrer si tu veux. Ici le but ça va être de pouvoir intégrer tous les immeubles de Mon entreprise dans un seul et unique modèle "ville", on a des bâtiments un peu partout en Belgique mais au moins à l'échelle de Bruxelles et aussi de pouvoir voir les interactions qui les lient entre eux et à ce moment-là, si j'ai des collègues qui sont intéressés,

on a un mobility manager, ce genre de truc pour bien se rendre compte des distances entre les immeubles et les moyens de transport qui existent entre les immeubles etc. on sait le faire sur des cartes 2D classique, mais si on a des moyens de communiquer qui peuvent amener à une meilleure compréhension, à créer de l'envie ou ce genre de truc pourquoi pas. Mais pour ça il faut avoir la base et la base c'est d'avoir au moins le modèle.

1:12:22 > 1:17:27 [Communication entre les acteurs du projet]

Doctorante : Le dernier point du coup c'est la communication entre les acteurs du projet et là j'ai uniquement parlé du recensement des échanges liés au projet et de la collaboration améliorée qui sont des termes très vastes. Mais du coup ça je suppose que c'est quelque chose que tu fais déjà parce que c'est un peu inhérent au BIM.

R1: Ca c'est effectivement maintenant systématique sur tous les projets mais ce n'est pas aussi simple que ça en a l'air. On est encore dans des cas de figure où ça change à chaque projet, où il y a des difficultés différentes à chaque projet et on a encore des ruptures de process entre certaines phases. Donc collaboration améliorée, c'est très du vécu en interne, je ne sais pas si ça t'intéresse mais je constate que ça marche encore bien entre tous les acteurs d'une phase mais que passer d'une phase à l'autre reste parfois un challenge, "ok là on a fait l'étude c'est gentil on passe en construction et oh on remodélise tout" ou on ne comprend pas ou machin, "tu passes en exploitation ah mais attends on te balance le truc on t'a fait un as-build tiens démerde-toi avec", "ah mais je n'ai jamais ouvert un modèle BIM hop poubelle". Typiquement on a un énorme projet en centre-ville, on a un magnifique modèle as-build et en fait à la seconde même où l'entrepreneur a réceptionné le bâtiment le modèle à arrêté de vivre alors qu'on commençait seulement à avoir les locataires à l'intérieur qui débarquaient pour faire leurs travaux d'aménagement intérieur. Donc tous les aménagements intérieurs, qui ont parfois eu des impacts sur les communs, n'ont pas été intégrés alors qu'on vient à peine de construire le bâtiment.

Doctorante : J'ai justement écrit un article sur ce fait que la maquette numérique elle cesse presque d'exister, en tout cas les informations cessent de circuler au moment où les usagers arrivent en fait, donc ils sont, en termes de communication avec les usagers, ils sont d'offices exclus, on ne leur laisse même pas l'opportunité.

R1: Oui, aujourd'hui ce n'est pas encore arrivé à ce niveau smart où l'interaction inconsciente de quelqu'un qui remontrait... mais il faut faire attention parce qu'il y a quand même différents types d'information, quand tu es en smart tu es vraiment dans la data directe et du coup ce n'est même plus du BIM, c'est du monitoring, c'est de l'IOT, c'est juste géolocalisé dans le modèle BIM mais en soit l'information en tant que telle ce n'est pas lié au modèle c'est un autre type d'information qui est affichée et liée à des objets et du coup c'est un type de choses qui passe mais par rapport à ce que tu dis effectivement la difficulté que j'essaie de mettre en place c'est de faire comprendre ça, et donc il faut réussir à faire en sorte qu'on ait des modèles "locataires" qui soient intégrés dans un modèle global et que le locataire lui-même prenne en charge son propre modèle de son aménagement intérieur. Pour des bâtiments à l'échelle de Mon entreprise évidemment quand tu as une maison familiale ça n'a pas de sens et quand tu as plusieurs locataires dans un immeuble à un moment si chacun aménage son étage à sa manière, il faut qu'il ait la main aussi. S'il l'a pas il ne va rien se passer, il faut qu'il ait la main et les compétences. Ca peut fonctionner pour des boîtes comme nous où on a des locataires qui ont des architectes mais quand tu demandes vraiment au hand user de commencer à modéliser alors qu'il n'est pas architecte, qu'il n'est pas ingénieur, qu'il n'est pas du monde de la construction, pour moi il faut trouver d'autres passerelles, il faut trouver d'autres moyens d'échanger de l'information.

Doctorante : Oui c'est sûr.

R1: Alors qu'il y a une énorme plus-value à aller chercher là-bas, par exemple on a la Vlaamse Overheid, donc le gouvernement flamand, je pense vraiment qu'ils auraient un énorme intérêt à gérer avec leurs équipes leurs mobiliers, c'est bête mais ils ont plein de chaises, plein de tables, plein de bureaux, plein de machins,

tout ça est dans le modèle BIM du projet qu'on est en train de leur faire, donc ils vont avoir un inventaire complet où chaque élément est localisé dans les pièces dans lesquelles ils se trouvent mais à j+1 où ils auront déjà bougé trois chaises et quatre tables, ils ne sauront déjà plus quoi est où, et il n'y a personne chez eux qui aura la compétence pour se plonger dans le modèle BIM, le mettre à jour et le suivre et en tirer la plus-value et s'il y a un gars qui fait un inventaire on peut être sûr qu'il le fera à l'Excel et qu'il passera manuellement voir dans les pièces ce qui se passe. Et c'est là où le BIM implique tout le monde si vraiment on veut que ça fonctionne à 100% et qu'aujourd'hui les archis stade TS ils sont relativement aboutis, les entrepreneurs ils commencent, les maîtres d'ouvrage et les utilisateurs locataires ce genre de choses, même les maîtres d'ouvrage et les usagers professionnels j'ai envie de dire même ceux-là ils ne sont nulle part, ils n'ont pas de ressources qui sont affiliées à ça et leurs implications qui pourraient être BIM ne le sont pas. Ça va plus vite de faire un Excel que de comprendre comment fonctionne un modèle BIM. Je ne sais pas si tu me suis mais...

Doctorante : Oui, oui je comprends.



00:00 > 01:13 [Introduction]

Doctorante : Ok donc normalement ça a commencé. Je vais d'abord vous faire un petit contexte, l'entretien il est prévu pour durer environ une heure, parfois en fonction des personnes et de ce qu'elles ont à dire ça peut prendre un peu plus ou un peu moins de temps, mais si à un moment il faut qu'on mette fin à l'entretien vous pouvez me le signaler sans problème.

R2: Moi j'ai une contrainte à onze heures et demie, j'ai une autre réunion derrière.

Doctorante : Ok. Donc, c'est un questionnaire qui s'organise en trois parties. La première partie, elle sert à cerner rapidement votre profil. La deuxième partie va servir à vérifier qu'on a la même définition des concepts que je vais utiliser et la dernière partie c'est la plus importante ça va questionner vos habitudes et vos aspirations par rapport à la mise en place d'une forme de durabilité dans les pratiques BIM.

01:13 > 03:10 [Profil]

Doctorante : Donc, la première question que j'ai pour vous c'est, assez brièvement, quelle formation vous avez suivie et combien d'années d'expérience vous avez dans le milieu de la construction et notamment dans la construction liée à l'utilisation du numérique ?

R2: J'ai un parcours un peu atypique, je viens du monde de la télécommunication, j'ai fait une école d'ingénieurs en télécommunication. Mais j'ai commencé par le biais un peu technique de l'informatique et de la programmation. Je suis au Mon entreprise depuis onze ans maintenant. Donc j'ai commencé en développant dans la plateforme Bing le viewer de maquette IFC qu'on développe au Mon entreprise et après petit à petit j'ai évolué vers la gestion de projet et maintenant je suis référente de la thématique BIM, gestion, exploitation, maintenance. Donc, en termes de (...) voilà je n'ai pas vraiment un parcours d'architecte ou autour du domaine de la construction on va dire que j'ai appris un peu sur le terrain aussi.

Doctorante : Par rapport au BIM est-ce que vous avez suivi une formation en particulier qui vous a fait basculer dans le BIM ou c'est venu progressivement, ou au détour d'une opportunité de travail ?

R2: Non c'est venu progressivement, j'avais fait un stage de fin d'étude en fait lié à un master sur l'imagerie, le traitement d'images au Mon entreprise qui m'avait plu et puis quand j'ai été embauchée, j'ai appris sur le tas et dans le monde du numérique, sur les formats d'échanges sur les lois liées au monde du bâtiment, etc. C'est vraiment sur le tas après que j'ai appris.

Doctorante : Le numérique c'est quelque chose que vous utilisez régulièrement de manière quotidienne et qui vous est assez familier ?

R2: Oui, oui tout à fait.

03:10 > 04:45 [Définition des concepts] [Concept architecture durable]

Doctorante : Ma deuxième question c'est, qu'est-ce que vous donneriez comme définition au concept d'architecture durable ?

R2: (...) Alors, au Mon entreprise on a plusieurs (...) alors je ne sais pas si c'est vraiment (...) si on va sur le volet économie circulaire, énergie, etc. ça ne va pas être exactement ma direction qui traite ces sujets-là, moi

je suis vraiment dédiée à la maquette numérique et au numérique. On a d'autres directions, direction énergie et environnement qui sont sur ces sujets plus environnement, énergie circulaire, etc. Donc, durabilité moi je la vois à travers la manière dont on va définir les éléments constructifs du bâtiment dans la maquette, le lien avec les matériaux, comment optimiser par des calculs éventuellement de simulation ces préconisations en termes de matériaux à utiliser au niveau de tous les éléments constructifs gros œuvre, second œuvre je le vois plutôt comme ça.

Doctorante : Ok. Du coup moi quand je parle d'architecture durable, je me suis basée sur la définition du développement durable et donc je la vois comme une architecture qui est socialement équitable, écologiquement soutenable et économiquement viable et qui s'organise autour des concepts de durabilité et des projets dans le temps et d'acceptabilité sociale et environnementale.

04:44 > 09:17 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM]

Doctorante : Ma question suivante c'est, selon vous quelles thématiques peut-on traiter via le BIM pour pouvoir construire, pour pouvoir concevoir une construction durable ?

R2: Reposez la question.

Doctorante : Quelles sont les thématiques de la construction durable qu'on peut traiter avec le BIM ? A quel moment le BIM est pertinent pour concevoir une construction durable ?

R2: Justement au niveau de ma direction, technologie de l'information, on travaille énormément sur les usages et donc quels usages faire de la maquette numérique. On en a beaucoup au niveau du chantier, au niveau de la conception-réalisation dans cet objectif-là c'est-à-dire en particulier au niveau des simulations pour pouvoir faire des analyses de durabilité, environnementale, etc. en amont de la construction et orienter les choix qui seront faits à terme ensuite par les bureaux d'études, les entreprises pour cette modélisation. A posteriori une fois que le bâtiment est construit, sorti de terre, etc. c'est comparer aussi ce qui a été simulé, estimé en amont avec ce qu'on voit vraiment en réalité parce que généralement il y a des écarts ou les simulations qui ont été faites ne prennent pas en compte tous les critères par exemple l'occupation, la manière dont les usagers vont utiliser le bâtiment en vrai, laisser des fenêtres ouvertes, etc. Souvent, il y a énormément d'écart par rapport au construit. C'est pour ça que c'est un petit peu cyclique et comment optimiser la réhabilitation, comment faire évoluer les choix pour se rapprocher au maximum de ce qui avait été prédit en amont, les simulations.

Après, il y a tout ce qui est exploitation, moi je travaille beaucoup sur la partie plutôt exploitation que conception, réalisation, amont. Donc ensuite, comment, et là c'est énorme en fait le nombre de cas d'usage par thématique ou par secteur d'activité à l'échelle bâtiment, à l'échelle urbaine, optimiser l'exploitation la gestion, aller voir du prédictif, augmenter la qualité, le confort, la qualité de l'air, je ne vais pas toutes les lister, mais voilà il y a vraiment des usages à toutes les phases pour aller vers cette architecture durable et tous les termes que vous avez évoqués.

Socialement je ne sais pas ce que vous voulez mettre derrière, nous on travaille beaucoup sur la conduite au changement pour mettre en place des pratiques BIM pour s'en servir derrière ensuite pour un accompagnement derrière humain organisationnel technique à mettre en place pour aller vers cette architecture durable. L'évolution des pratiques, des métiers, ...

Doctorante : Quand vous parlez d'un accompagnement humain vous voulez parler d'un accompagnement des professionnels ou des usagers ?

R2: C'est l'ensemble en fait, à la fois effectivement des professionnels pour utiliser la maquette, avoir les bons outils et pour le suivi, l'exploitation et pour la fiabilité des données, ... Et aussi sur les usagers par exemple on a des projets d'intégration des utilisateurs dans les workflows où on se rend compte que parfois

des techniciens ont du mal à utiliser la maquette 3D, donc est-ce que c'est la bonne solution pour eux ? A qui cette maquette est destinée, on se pose beaucoup de questions sur l'utilisateur final jusqu'à l'usager éventuellement, si c'est pour impliquer les locataires, est-ce que ça va leur parler d'utiliser une maquette 3D. Donc ça peut couvrir éventuellement tout le scope.

09:17 > 12:48 [ Pas de thématique]

Doctorante : Ok. Ma thèse est orientée principalement sur la durabilité sociale et le BIM. Et donc en fait ce que je vais faire maintenant, c'est que je vais vous envoyer un document. En fait, c'est un tableau où je vais reprendre en fait les critères de durabilité sociale qui peuvent avoir une interaction avec le BIM. Ce n'est pas une liste exhaustive, en fait, mon objectif c'est de présenter cette liste à des gens qui sont dans le milieu pour voir si cette liste correspond à une réalité, s'il y a des freins qui sont liés à certains éléments de cette liste que je n'ai pas identifiés, et quels sont les éléments manquants dans cette liste ? Et donc, c'est une liste qui a été élaborée sur base de l'étude de plusieurs recherches, qui étaient elles-mêmes des recherches synthétiques sur le sujet. Donc c'est un état de l'art, je veux dire de la situation, mais ça manque de réalité concrète en fait. C'est le document que je vous envoie juste maintenant.

(...) Un instant.

12:48 > 19:39 [Sécurité]

R2: Sur l'axe sécurité, c'est vraiment orienté sécurité des usagers à ce que je comprends là.

Doctorante : Il y a une partie sécurité des usagers, mais il y a aussi une grosse partie sécurité sur chantier donc les premiers points concernent cette partie-là. Donc, c'est « utiliser les données des précédents chantiers pour pouvoir éviter des accidents qui se produisent fréquemment, vérifier des règles de sécurité avec les ouvriers, estimer le coût des équipements de sécurité donc à nouveau pendant la phase chantier, localiser sur le chantier en temps réel des ouvriers et des équipements », pour pouvoir éviter que des ouvriers non qualifiés se retrouvent à côté d'équipement dangereux pour lequel les deux ne sont pas censés rentrer en interaction du coup ça nécessite l'utilisation de capteurs dans les casques des ouvriers. Il y a aussi « la visualisation des espaces de sécurité qui sont requis pour manipuler les équipements » donc à nouveau en phase chantier, « les conflits horaires » donc ça c'est ce dont je viens de parler avec l'ouvrier et équipement lourd. Après les deux derniers points concernent plus l'usage du bâtiment puisque là il s'agit de « la gestion des interventions en cas d'incendie et entraînement et formation des usagers à la sécurité » donc notamment en cas d'incendie aussi.

R2: Ça reste quand même sécurité des humains, des êtres humains ?

Doctorante : Oui.

R2: Moi derrière sécurité quand je l'ai lu d'un premier abord je pensais qu'il y avait aussi le volet données, sécurisation des données, sur quoi on travaille de plus en plus maintenant que le BIM commence vraiment à être en place c'est toujours des sujets qu'on traite à la fin, mais la sécurisation des données commence à être un axe fort. Je ne sais pas si vous voulez en parler là, mais parce que notamment avec tout ce qui est IOT, remontée des données personnelles, ... c'est un des axes forts sur lesquels on travaille. Après sur la sécurité en tant que telle, des lieux ou des humains, on utilise beaucoup la maquette pour géolocaliser des espaces de sécurité, visualiser des zones pour voir si elles sont bien définies, donc ça veut dire que derrière dans le cahier des charges il faut que ce soit exigé, demandé, mais en tout cas la maquette peut être un support pour géolocaliser ou en amont d'une intervention, pour aller, s'il y a des zones d'accès un peu difficiles, avoir tout un tas d'informations sur le lieu sur lequel intervenir en amont. « Gestion des interventions en cas d'incendie » ce sont des choses qui ne sont pas encore concrètement réalistes dans le sens où il y a vraiment

des normes de sécurité qui sont dédiées à des personnes qui ont la charge de ça et la maquette ne peut pas vraiment remplacer, ça peut être un support effectivement pour les aider à se déplacer, pour visualiser les choses, mais ce n'est pas par la maquette qu'on pourra intervenir, il y a vraiment une notion de responsabilité je pense à avoir. Après, vérification des règles, on travaille beaucoup aussi sur utiliser la maquette pour vérifier des règles dans la maquette. Ça peut être sécurité, réglementation PMR, ... vraiment ce genre de règles un peu géométrique, aussi que les détecteurs incendies sont placés au bon endroit par rapport à ce qui est prévu dans la réglementation, vraiment lié à la réglementation, ça on travaille beaucoup dessus. Voilà sur le volet sécurité. Vous voulez d'autres éléments ?

Doctorante : Est-ce que, donc vous, si je me souviens bien vous travaillez plutôt sur la gestion et la maintenance et donc est-ce que vous voyez une utilité qui n'est pas citée là-dedans qui pourrait être intéressante à exploiter avec le BIM, mais que vous n'avez pas encore expérimentée ou dont vous n'avez pas entendu parler ?

R2: Par exemple ce qu'on avait travaillé avec des techniciens industriels de la SNCF qui font la maintenance des trains, il souhaitait pouvoir visualiser les zones de maintenabilité autour des équipements. J'imagine qu'il y a aussi un sujet de sécurité derrière mais c'est aussi en termes de maintenance que les espaces sont correctement estimés en amont lors de la conception, donc ça peut être ça. Tout ce qui est lié après, je ne sais pas si c'est complètement connecté, à du préventif et du prédictif, c'est-à-dire aussi lancer des alertes, utiliser la maquette comme support pour visualiser des alertes qui seraient liées à des problèmes de maintenance sur des équipements, ça ce sont des sujets qu'on travaille pas mal. Après sur le chantier, je n'y travaille pas directement, je pourrais me renseigner auprès d'un collègue qui travaille vraiment sur le sujet chantier mais c'est un axe fort de notre recherche aussi sur l'utilisation de la maquette vraiment sur le chantier donc je ne pourrais pas vraiment répondre, mais je sais qu'il n'y a pas mal d'usages qui sont en cours d'analyse de notre côté. Visualiser aussi tout ce qui est équipement mobile, ça c'est un besoin aussi visualiser les nacelles notamment on avait regardé ça justement aussi pour le technicien industriel de la SNCF pour voir si les espaces sont bien représentés pour le déplacement de ces nacelles.

Doctorante : Donc, ça c'est quelque chose que vous avez déjà expérimenté ?

R2: C'est expérimental, mais en tout cas on a des capacités de visualiser des équipements mobiles et les volumes de déplacement mobile de ces nacelles ou de ces équipements mobiles dans la maquette.

Doctorante : Ok. Du coup on peut passer au deuxième point qui concerne le confort des usagers.

R2: Juste, attendez je pense à quelque chose aussi c'est parce que du coup il y a tout ce qui est aussi réalité virtuelle. Et notamment sur ce projet aussi on n'a jamais vraiment expérimenté. Réalité virtuelle je ne sais pas si on y est vraiment encore parce que je trouve que, les retours qu'on a c'est que c'est compliqué d'avoir ce casque. Aujourd'hui je pense qu'en termes de matériel on n'est pas vraiment encore au point, mais aussi utiliser la maquette pour des formations à distance donc ça peut rentrer je pense dans le cadre de ce critère pour s'assurer que les normes de sécurité sont aussi en place je pense que ça peut être un sujet intéressant.

19:39 > 26:54 [Confort des usagers]

R2: Confort des usagers, ça pour le coup, on y travaille énormément et notamment on croise... Donc moi je fais partie de la direction "technologies de l'information" vraiment orientées "données numériques", "maquette", ... et on travaille beaucoup avec la direction « Énergie Environnement » qui, justement, elle travaille énormément sur tous ces algorithmes aussi de simulation, ils développent des outils, des algorithmes. Donc l'intérêt de coupler nos 2 directions c'est que nous, on est vraiment sur la maquette technique, l'aspect technique et eux, ils nous apportent l'aspect simulation, usage, outils, et on croise les deux. C'est-à-dire qu'est-ce qu'il faut exiger dans la maquette numérique en termes de cahier des charges, en termes de structuration, pour pouvoir justement faire le lien avec ces informations de confort des usagers.

On a fait pas mal d'expérimentations autour de la qualité de l'air intérieur liée au COVID notamment. Donc modéliser dans la maquette les mouvements d'air, s'assurer que c'est cohérent par rapport aux fenêtres, à la manière dont la pièce est configurée, se servir de la maquette aussi pour proposer d'autres configurations, des bureaux, des ouvertures, ... vérifier que les zones de sortie sont suffisamment proches par rapport aux espaces où il y a les usagers, donc utiliser la maquette pour évacuer les personnes vers les espaces les plus proches. L'éclairage naturel aussi, ça clairement. Voilà, on utilise beaucoup la maquette comme support pour tout un tas de simulations énergétiques, des simulations de vent aussi, par exemple dans la grande Arche, on a regardé comment les simulations d'air se faisaient, donc on travaille beaucoup à l'échelle du bâtiment mais aussi à l'échelle d'un quartier, des nuisances sonores au niveau des routes et de l'éclairage aussi. Donc ça ce n'est pas mal à l'échelle d'un quartier justement entre deux bâtiments qui peuvent se tenir l'un par rapport à l'autre ou par rapport à l'éclairage du soleil,... Donc voilà, ces autres directions nous apportent vraiment ces outils et ces algorithmes simulations. Et nous, on couple ça avec la maquette numérique, donc à la fois en amont mais après derrière aussi en termes d'affichage, de visualisation de restitution, d'indicateurs, ...

Doctorante : Et du coup, ces éléments-là en fait, c'est des choses qui sont déjà fonctionnelles, qui ont un retour d'expérience positif ?

R2: Alors, la problématique avec tout ce qui est simulation, c'est que ça reste encore des connecteurs à chaque fois au cas par cas, avec des outils, des bureaux d'études, on n'a pas de format un peu générique sur tout ce qui est simulation, ça passe toujours par des formats pivots intermédiaires et c'est ça qui est un peu fastidieux dans les simulations. C'est à chaque fois adapter un peu les critères dans la maquette où on a réussi à identifier certains prérequis dans la maquette numérique pour pouvoir faire des calculs. Typiquement ce qu'on appelle des spaces boundary, c'est-à-dire dans le volume de la pièce avoir bien la connectivité entre le volume et les cloisons, les murs, tout ça, si on ne les a pas, par exemple, ça nous empêche de faire des calculs de simulation si les espaces ne sont pas bien fermés. On a quand même des prérequis, des exigences dans la maquette numérique pour pouvoir lancer derrière ces simulations mais ça fonctionne et on a déjà des résultats concrets à l'échelle du bâtiment et à l'échelle de la ville. Ce sont des usages qu'on utilise très souvent sur la partie conception, réalisation qui ne sont pas forcément réalisés par les maîtrises d'ouvrage directement mais par les bureaux d'études. Donc aujourd'hui, nous, on travaille beaucoup avec les maîtrises d'ouvrage, on les assiste pour les cahiers des charges, pour suivre les maquettes, définir leurs exigences, après, ce sont les bureaux d'études, les entreprises qui utilisent la maquette pour les aider dans leur travail au quotidien. Alors après, ça peut servir à la maîtrise d'ouvrage en amont aussi, faire des estimations, mais c'est surtout les bureaux d'études qui utilisent ça. En fait, c'est censé les aider dans leur travail au quotidien.

Doctorante : D'accord. Est-ce que vous savez si dans les bureaux avec qui vous travaillez pour définir ces critères de confort des usagers est-ce que ce sont des critères génériques qu'on peut réutiliser à chaque projet ou est-ce qu'en fonction de la spécificité du lieu, des gens qui l'occupent est-ce qu'ils essaient d'adapter ça aux gens qui se trouvent là, est-ce qu'il y a peut-être une démarche participative pour élaborer ces critères ou bien ils sont pour l'instant plutôt dans une logique d'essayer de faire quelque chose d'un peu générique justement ?

R2: Je trouve ça assez générique, plutôt dans une démarche générique. Après oui, il va y avoir quelques adaptations à la marge par rapport aux typologies des bâtiments, si c'est une gare, si c'est une école, il va y avoir peut-être des adaptations mais ça reste quand même relativement générique.

Doctorante : OK. Je ne sais pas si vous avez encore un autre élément à apporter à cette catégorie ?

R2: Estimation des coûts, ça c'est un sujet sur lequel on travaille beaucoup, on a des équipes dédiées qui travaillent sur ça justement. Et le ROI, c'est un sujet qui revient énormément, à la fois en conception-réalisation et en exploitation. On a des résultats assez concrets maintenant sur la partie conception-réalisation. Sur l'exploitation ça c'est un peu plus compliqué parce qu'on n'a pas suffisamment de maquettes

et de cas concrets de DAO numérique complet, d'utilisation de la maquette en exploitation et puis on se rend compte que l'investissement est aujourd'hui important pour pouvoir aller jusqu'à l'exploitation, donc ce n'est pas rentable on va dire aujourd'hui, mais on n'a pas la visibilité sur 10, 15 ans d'exploitation d'un bâtiment pour savoir si ça sera rentable donc c'est un gros axe aussi sur lequel, le ROI, sur lequel on travaille. Parce que derrière ça peut déclencher des projets si une entreprise ou une maîtrise d'ouvrages se rend compte que ça va lui faire gagner un coût assez important. Après en termes de rénovation, en termes de réhabilitation, ... forcément, il va y avoir un investissement pour aller vers le numérique. Alors que si ça reste une expérimentation à la marge, un prototype, c'est moins intéressant.

Doctorante : OK.

26:54 > 33:45 [Processus d'apprentissage]

R2: Le point d'apprentissage.

Doctorante : Oui donc c'est le processus d'apprentissage à la fois pour les étudiants et pour les professionnels de la construction, puisque tout ça c'est assez nouveau. Donc les professionnels, comme vous le disiez tout à l'heure, sont encore en phase de formation sur le sujet. Dans cette partie-là, il y a deux volets, d'une part la visualisation des espaces qui permet du coup d'améliorer la compréhension de l'aménagement des espaces, donc là on est plutôt dans la logique archi mais on peut ouvrir ça à n'importe quelle personne qui veut apprendre à mieux se représenter l'espace. Après la deuxième partie correspond plutôt à apprendre les principes de construction durable, justement via des simulations, que l'on peut réaliser plusieurs fois, parce que avant quand on voulait apprendre ce genre de concept, on pouvait les tester en laboratoire quand on était en cours, mais ça veut dire que lorsqu'on rentrait chez soi, on ne pouvait plus refaire des tests par-dessus ou changer des paramètres. Il fallait le matériel qui était présent dans la phase de cours, mais chez soi, on ne l'avait plus forcément alors qu'ici, la maquette numérique, on sait la reprendre chez soi, on sait la manipuler comme on veut, en faire des copies, faire différentes simulations. Donc voilà, il y a un peu ces deux volets-là.

R2: Il y a des choses, je pense que j'ai peut-être déjà dit avant. La visualisation des espaces, c'est quelque chose qui est récurrent dans les usages, ça c'est évident, l'espace, le volume de l'espace, porte vraiment énormément d'informations et des fois on peut s'arrêter juste au volume de l'espace et rattacher tout un tas d'informations sur l'espace. Ça peut être suffisant dans un premier temps. Ou pour contextualiser des équipements par exemple, donc oui, ça c'est quelque chose qui est systématique à l'espace, on peut ajouter vraiment plein de choses, par exemple des informations du réseau, ça peut être des propriétés ajoutées à l'espace, le taux d'occupation ou de vacance du local. C'est aussi des choses qui sont intéressantes, tout à l'heure je l'ai dit pour avoir tout un tas d'informations sur le local avant d'aller intervenir, notamment en exploitation. On utilise beaucoup la maquette pour tout ce qui est aussi espace témoin avant que ce soit construit. Donc ça c'était des choses qu'on nous avait beaucoup demandées au tout début où il n'y a pas forcément besoin d'une maquette IFC très technique, mais là c'est vraiment travailler sur le rendu, l'esthétique aussi, c'est un outil de communication, un outil de vente, marketing pour par exemple, faire la promotion d'une nouvelle construction. L'aménagement des espaces, oui, on y travaille aussi beaucoup. On travaille, on a des petits modules pour aller ajouter dans la maquette des équipements, des volumes, voir si du coup l'espace d'occupation, les espaces de circulation sont toujours possibles. Si on utilise par exemple un cas d'usage, c'est les déménagements. Donc ça, on l'a développé aussi, on a fait un petit prototype donc pour savoir si les équipements d'avant et d'après déménagement pouvaient se placer dans le nouveau local, si la charge de la dalle était respectée. Donc les espaces, c'est vraiment quelque chose qui est systématique. Alors, principe de construction durable par simulation. C'est pareil, l'espace c'est un volume qui est systématiquement utilisé quand on fait des simulations. Et puis, comme je le disais aussi tout à l'heure, les connexions avec les éléments constructifs. L'espace, on va aussi beaucoup l'utiliser au niveau des typologies, des relations, quel espace est connecté à tel autre espace ? Et ça va nous donner derrière énormément

d'informations, nous donner les espaces de circulation, nous dire si par exemple un logement est un T1, un T2, un T3, l'espace porte beaucoup de choses et les relations entre les espaces aussi peuvent par exemple pour des, alors c'est peut-être à la marge par rapport à cet élément-là, mais pour trouver un chemin de circulation dans une maquette, on va passer aussi par ces espaces donc il n'y a pas que de la visualisation, il y a aussi toute l'information qu'on peut déduire de cette modélisation des volumes dans la maquette numérique et des informations qu'on peut attacher à ces espaces.

Doctorante : Et vous qui, justement, ne venez pas, à la base du milieu de l'architecture, est-ce que vous pensez que l'utilisation des maquettes BIM vous a aidée à mieux appréhender ces espaces ou pas spécialement ?

R2: Alors je pense que ça va vraiment dépendre des utilisateurs. Il y en a qui ont du mal à se représenter les choses en 3D, il y en a pour qui c'est évident. Après, des fois des vues juste 2D, top View, c'est plus intéressant. Les deux peuvent être intéressantes. Mais bien souvent, une vue 2D peut être suffisante. La 3D n'est pas forcément simple à appréhender au final. Ce qu'on voit derrière le BIM, c'est que c'est plus une gestion de la donnée que juste une visualisation, c'est bien plus que ça en fait, c'est un plus que d'avoir de la 3D. Mais le vrai intérêt du BIM, c'est qu'en BIM il y a aussi information modeling, mais il y a management, c'est tout ce qu'il y a autour de la donnée, le management de la donnée, les processus collaboratifs, la structuration de la donnée, ce n'est pas vraiment que la 3D. C'est un plus, mais qui ne va pas servir à tous.

Doctorante : D'accord.

R2: Il y a plein d'usages de la maquette qu'on ne voit pas forcément dans la 3D. Tout à l'heure, on parlait de géolocaliser des interventions, si c'est un petit site avec une équipe de maintenance, des techniciens qui connaissent le site, la 3D ne va rien leur apporter, eux ils savent où sont localisés les équipements, ils savent où sont les trappes d'accès, ... ça s'est déjà connu pour eux, donc la 3D ne va rien leur apporter. Donc ça, ça va vraiment être aussi au cas par cas, par rapport au site, par rapport à la manière dont il est exploité. Donc voilà. La 3D a beaucoup aussi d'usages en termes de marketing communication.

Doctorante : OK.

33:45 > 37:22 [Patrimoine culturel]

Doctorante : Le point suivant, ça concerne le patrimoine culturel. Donc là, à nouveau, il y a deux volets. D'une part, il y a la partie modéliser les bâtiments à différentes époques pour avoir des bibliothèques numériques de bâtiments historiques, donc là c'est un peu l'idée de musée des bâtiments. Et puis il y a la partie surveillances maintenance des bâtiments, de leur entretien, et puis réduction des coûts de maintenance aussi. Donc il y a ces deux volets, il y a un côté vraiment très culturel et puis un côté très concret de préservation de l'existant via le BIM. Est-ce que c'est quelque chose que vous avez déjà eu l'occasion d'expérimenter ? Je ne sais pas si vous avez déjà eu l'occasion de travailler sur des bâtiments patrimoniaux ?

R2: Par exemple, on est en partenariat avec la SNCF et ils ont des gares, un peu monument historique donc actuellement ils sont dans une étape de numérisation des différentes gares. Donc pour derrière, effectivement, ensuite les maintenir exploitées, ... Et on travaille beaucoup aussi sur tout ce qui est par l'IA, donc c'est un peu à la marge aussi, c'est aller détecter des fissures, des éléments caractéristiques sur les bâtiments alors ce n'est pas forcément qu'historique, mais aller en avance de phase pour l'exploitation, pour la maintenance des sites, détecter des pathologies sur les bâtiments pour anticiper des interventions, des réparations, des travaux, donc par numérisation, on récupère des nuages de points et par traitement d'images, sémantisation, on va aller essayer de détecter ces pathologies dans les bâtiments . Donc ça reste encore très expérimental et donc la SNCF, on en avait discuté à un moment donné de pouvoir notamment faire passer des drones sous les toitures des gares, justement pour prévenir des fissures au niveau de ces gares un peu historiques donc part de l'IA.

Modélisation des bâtiments, on est en plein dedans, ça c'est des sujets qu'on traite au quotidien de numérisation. On travaille beaucoup sur le neuf, mais aussi énormément sur la numérisation de l'existant pour énormément de maîtrises d'ouvrage qui ont des patrimoines énormes, les bailleurs ils ont énormément de bâtiments existants, la SNCF, à l'échelle de collectivité aussi. Et après, connecter tout ça donc, nous on travaille vraiment sur l'ensemble du cycle de vie de la donnée depuis des étapes de numérisation, récolter des nuages de points, sémantiser la donnée, ensuite fiabiliser et structurer cette donnée pour récolter, récupérer du coup, une maquette numérique, derrière l'exploiter. Après, il y a tout ce qui est déconstruction enfin, on va dire d'abord réhabilitation, travaux, rénovations en lien avec tout ce qu'on a discuté sur les simulations, durabilité, performance, gestion des problématiques environnementales dans le respect de toutes les règles imposées. Et après derrière aller jusqu'à la déconstruction.

Doctorante : Ok.

### 37:22 > 40:43 [Communication avec les usagers]

Doctorante : Les deux derniers points, en fait, c'est un seul point, qui est la communication que j'ai scindée en deux parties, communication avec les usagers et communication entre les acteurs du projet. Donc pour la partie usagers, c'est le côté visualisation, partager des solutions, dans l'idée d'une rénovation d'un bâtiment dans lequel des personnes habitent déjà de pouvoir leur proposer des solutions qu'ils puissent visualiser ce qui se passe. Mais comme vous le disiez tout à l'heure, ce n'est peut-être pas forcément plus évident pour eux de se repérer dans une 3D que dans une 2D. Et puis après il y a la partie intégration de la participation citoyenne on commence à entendre parler un peu de forme de réseau social orienté sur la maquette BIM pour que les citoyens puissent participer directement dans la maquette ou en tout cas qu'il puisse au moins la visualiser depuis chez eux. On peut peut-être commencer déjà par ça.

R2: Alors sur ce point-là, effectivement je ne sais pas si on est allé au bout, mais on avait des travaux par rapport à ça, à essayer de faire participer les citoyens, les usagers, mais ce n'est pas si simple que ça, ce n'est pas si simple de les impliquer au final. On avait organisé des groupes de travail pour aller vers ça, mais je ne sais pas si, je n'ai plus en tête ce projet, c'était il y a un moment, je ne sais pas s'il a vraiment abouti. En tout cas j'ai assisté à des présentations récemment par rapport à ça et ce n'est pas si simple d'impliquer les citoyens aujourd'hui, je pense réellement en amont. Après, en aval, quand le bâtiment est construit, j'ai entendu récemment des outils pour, notamment lors de syndicats de copropriété en réunion de copropriété, utiliser la maquette numérique pour prédire quand est-ce que des équipements vont devoir être changés, renouvelés, les coûts associés, voilà avoir un meilleur suivi d'équipements, des statistiques sur les problématiques pour remonter sur les différents équipements, installations et pour préparer, on va dire les usagers à des coûts associés, de maintenance, de travaux. J'ai entendu par exemple que ce n'était pas évident pour un locataire de se projeter dans une 3D de son logement. Ils ont du mal à vraiment voir que c'est leur bien, leur habitation, donc c'est pour ça, la notion 3D, elle n'est pas simple. Moi, j'y travaille au quotidien donc c'est devenu, quelque chose pour moi, de très intuitif, mais je pense que pour quelqu'un qui n'est pas du tout là-dedans, appréhender son logement en 3D, ce n'est pas si simple que ça, ou appréhender un quartier. À avoir, je pense encore à qui ça s'adresse cette maquette numérique. On a aussi l'habitude des GPS de ce genre de choses-là. Et après, il y a ce caractère de comment impliquer le citoyen dans des choix, à l'échelle d'une collectivité, ... Ce n'est peut-être pas si simple encore que ça.

### 40:43 > 51:07 [Communication entre les acteurs du projet]

R2: Après communication sur les acteurs du projet, au-delà des usagers. Voilà, c'est vraiment aujourd'hui la maquette comme un outil de communication entre les différents acteurs pour la construction, les architectes et les bureaux d'études, les différents lots, électricité,... Aujourd'hui, on a l'impression que sur la partie conception réalisation elle est vraiment utilisée pour éviter les clashes, ... Sur la partie exécution, je pense



qu'on n'y est pas encore vraiment. Parce qu'après, chacun va travailler un peu dans son coin et produire la maquette a posteriori.

Doctorante : C'est-à-dire qu'il y a une maquette de base mais que chacun reproduit quand même sa propre maquette, à part ?

R2: C'est ça. On va dire qu'il y a vraiment encore une fracture au moment de l'exécution.

Doctorante : Qu'est-ce qui, à nouveau de manière idéale, à quoi ressemblerait en fait la communication et la collaboration dans le projet si on utilisait le BIM à son plein potentiel.

R2: Ce serait d'avoir une seule maquette unique où vraiment tout le monde à la même visualisation des choses mais aujourd'hui, on n'y est pas parce que chacun utilise encore son propre format avec ses propres outils. Il n'y a pas suffisamment encore peut-être d'uniformisation des formats, des outils aujourd'hui. Et puis il y a une scission entre les outils de modélisation et les outils de visualisation, ce ne sont pas les mêmes formats au niveau de la conception, il y a des outils comme Revit, comme Archicad, comme Allplan, qui sont des outils propriétaires et les entreprises ce sont elles qui choisissent l'outil de modélisation avec lequel elles sont familières. Ensuite on demande que ce format soit exporté en IFC, qui est le format de visualisation pour le collaboratif justement, mais il y a encore des soucis, on n'arrive pas à aller aux mêmes visualisations selon l'outil de modélisation qui est utilisé. Il y a des problèmes à l'export, à l'import, tout ça, ça manque encore de fluidité et d'uniformisation ce qui fait qu'il y a des blocages liés. L'IFC n'est pas un format de travail, donc s'il y a des évolutions géométriques du bâtiment, il faut toujours repasser par le natif, voilà, c'est encore lourd je pense. Des outils de simulation, c'est encore d'autres outils qui vont se greffer, il y a encore pas mal de formats intermédiaires, pivot, d'échanges, on n'est pas encore dans des formats, tout n'est pas complètement normalisé, standardisé en termes de format d'échange, ce qui fait qu'il y a des blocages. Après sur le terrain, on ne se rend compte aussi que les entreprises, utiliser la maquette numérique c'est plus un poids, ça ne les aide pas vraiment dans leur travail au quotidien. Donc ils ont tendance à ne pas l'utiliser et à la produire à la fin parce que c'est un livrable exigé. Il faut voir vraiment à quel moment est la valeur ajoutée de la maquette numérique. Il y a encore des phases, je pense où ça reste trop théorique où trop utopique d'utiliser la maquette. Après, en exploitation, c'est encore compliqué parce qu'il y a tous les sujets de mise à jour si cette maquette, elle n'est pas mise à jour, elle est rapidement désuète. Si la donnée n'est pas fiable, si on n'est pas sûr que la donnée est fiable elle sera pareille, elle ne sera pas utilisée. Donc, nous, on travaille beaucoup sur ces sujets de gouvernance, de mises à jour, de fiabilisation de la donnée qui sont fondamentales aussi pour utiliser cette maquette. Et donc en termes de communication aussi, on voit qu'entre la conception-réalisation, l'exécution et l'exploitation, s'il y a encore de nouveaux acteurs qui vont intervenir en exploitation, des gestionnaires, des bailleurs, ce n'est pas du tout les mêmes usagers, qui ont aussi eux plein d'outils, donc cette maquette, il faut qu'elle puisse être interopérable avec ces outils qui souvent ont des formats aussi propriétaires. Il y a un vrai manque encore d'interopérabilité, de standardisation qui fait que la communication est encore compliquée.

Doctorante : Donc là, dans ce que vous dites, j'identifie deux problèmes, c'est d'une part un problème technologique parce qu'il y a vraiment une question de transformation de la donnée qui n'est pas efficace. Et d'autre part, une question un petit peu de motivation des acteurs parce que pour certains ils ne voient pas à quoi ça peut leur servir et donc forcément, c'est compliqué et en plus ils ne voient pas à quoi ça leur sert.

R2: Et puis il y a une évolution des pratiques, une évolution des métiers. Il y en a qui sont favorables aux nouvelles technologies, d'autres qui sont plus, qui ont peur de cette remise en question de leur métier. C'est vu souvent aussi comme une charge de travail complémentaire et ils sont déjà débordés. Ça nécessite aussi un investissement, des formations. C'est pour ça qu'il faut passer par des ROI, parce que si les directions ne soutiennent pas les équipes dans cette évolution vers le numérique, ça ne se fera jamais. C'est pour ça qu'au point de vue humain, on est beaucoup sur la conduite au changement des nouvelles organisations des

équipes, des embauches des BIM data managers pour assurer cette gestion, cette fiabilisation des données, cette mise à jour des formations aux outils de modélisation, aux outils pour visualiser les maquettes IFC, d'intervention des DSI aussi parce que derrière il faut mettre en place des serveurs, il faut acheter, il faut investir dans des bases de données, dans des data lake, dans des plateformes collaboratives, donc il y a beaucoup de freins effectivement, des freins technologiques et des freins humains donc tout est à prendre en compte dans cette évolution vers le numérique. Donc tout ça, ça fait partie aussi des freins à cette communication, la démultiplication des outils. Et puis aussi peut-être qu'on a trop vendu le BIM comme l'outil magique qui allaient révolutionner les pratiques. Aujourd'hui, si les processus ne sont pas déjà en place indépendamment du BIM, il ne faut pas imaginer que la maquette va régler les problèmes, ça c'est faux, ça va en créer de nouveaux, mais il faut déjà qu'il y ait des processus en place et la maquette peut être un atout complémentaire par après, elle va remettre en question beaucoup de choses au niveau aussi de la structuration des données et des codifications. Donc c'est un travail d'ampleur, qui nécessite une implication de beaucoup de directions pour que ça se mette en place.

Doctorante : Est-ce que vous pensez du coup que le BIM va finir par s'implanter ? C'est juste qu'on a besoin de temps pour le faire ou est-ce qu'il va peut-être y avoir une scission entre les personnes qui utiliseront le BIM à son plein potentiel et celles qui ne prendront pas le train et qui décideront de faire autrement, de prendre une autre voie ?

R2: Alors, c'est déjà en net progrès, on le voit, au niveau des entreprises aussi, qui produisent les maquettes, ... On voit que les maquettes, moi j'ai commencé en 2011, on voit une évolution, les gens se forment, les entreprises commencent à utiliser la maquette. Nous aussi on a une mission au MON ENTREPRISE, par rapport à ça, il y a eu le plan BIM 2022 où l'objectif, c'était ça notamment, Kroqi aussi, la plateforme collaborative Kroqi, c'était d'aider les TPE PME à déployer le BIM. On se rend compte que, au final, cette plateforme Kroqi, elle a beaucoup été utilisée par des gros acteurs, ce n'était pas l'objectif premier, ce qui a fait qu'on a arrêté de la rendre gratuite. Pour les petits je suis d'accord qu'aujourd'hui c'est compliqué et ça peut les mettre dans des situations inconfortables s'ils acceptent de répondre avec le BIM alors qu'ils ne savent pas le faire. Donc je pense qu'on n'y est pas encore mais ça avance, ça évolue, effectivement il y a des très gros acteurs qui investissent dans le numérique et on va y aller, on n'a pas le choix en fait, même Macron il en a parlé, mercredi, le numérique, c'est l'avenir, ça permettra de mieux construire, de répondre à pas mal d'enjeux économiques, environnementaux, ... Mais je pense qu'il y a encore pas mal de soucis techniques, de formation, mais on avance, après nous, on essaie beaucoup de travailler sur des démarches un peu nationales, c'est-à-dire pour essayer de mutualiser les travaux à l'échelle d'un établissement public, à l'échelle d'hôpitaux, à l'échelle de bailleurs, donc essayer de faire avancer globalement l'ensemble des acteurs par usage, par métier, par rapport à leur problématique, à leurs outils, uniformiser les cahiers des charges, uniformiser tout ça. Aujourd'hui, il y en a encore beaucoup qui se sentent seuls et qui se trouvent perdus par rapport à la complexité du sujet par rapport au nombre d'outils, au nombre de start-up qui explosent. Nous, on a un petit peu un rôle aussi de garant, on préconise indépendamment de, où on ne doit pas faire de marge sur les projets, on est là pour donner des préconisations, des conseils, indépendamment des outils, des plateformes, dans le respect des standards, des normes. C'est ça le rôle du MON ENTREPRISE à la base. Donc moi je pense qu'il y a une mission de l'État à l'échelle nationale pour aider cette évolution vers le numérique et pour aider ces petits, donc c'est l'objectif de ces différents plans. Bon après, c'est dans la limite du budget qu'on peut y mettre aussi et l'objectif.

51:07 > 51:45 [ Pas de thématique]

Doctorante : Merci, je ne sais pas si vous voulez encore rajouter quelque chose. Il nous reste 5 petites minutes mais en tout cas moi j'ai obtenu les informations dont j'avais besoin donc merci beaucoup.

R2: J'espère que ça vous sera utile.

Doctorante : Oui je pense.

R2: D'accord, n'hésitez pas à me recontacter. Moi je pense qu'on a balayé pas mal de sujets mais s'il y a besoin, si vous avez d'autres questions ou des choses qu'après coup vous n'avez pas peut-être compris, que j'ai mal exprimé. N'hésitez pas à me demander.

Doctorante : Merci beaucoup.

R2: Je vous en prie, bonne continuation à vous.

Doctorante : Merci à vous aussi. Bonne journée, merci au revoir.

00:00 > 01:22 [Introduction]

Doctorante : Alors, mon entretien il est prévu pour durer à peu près une heure à la base mais avec le fait d'en avoir fait plusieurs je me rends compte que parfois ça dure un peu plus longtemps ou un peu moins longtemps. Donc ça je pense que j'en avais déjà parlé par mail, vous m'aviez dit que vous préféreriez que ça ne dure pas plus d'une heure et demie et a priori ça ne devrait pas dépasser ce timing-là.

**R3: D'accord.**

Doctorante : Par contre, si vous avez un empêchement à un moment ou si vous devez quitter l'entretien, vous pouvez évidemment mettre fin à l'entretien à tout moment. L'entretien est divisé en trois parties. Il y a une première partie qui sert à cerner votre profil, une partie qui sert à vérifier qu'on a la même définition des concepts que j'utilise et puis après la partie qui m'intéresse le plus et qui est la plus importante c'est une partie qui questionne vos habitudes et vos aspirations par rapport à la mise en place d'une forme de durabilité dans les pratiques BIM. Je vous ai envoyé un document par mail il y a quelques minutes, je ne sais pas si vous l'avez déjà vu.

**R3: Je viens de l'ouvrir là, oui.**

Doctorante : C'est un document que l'on utilisera tout à l'heure donc je vous demande de ne pas l'ouvrir pour l'instant. Mais ce sera plus facile que vous l'ayez sous les yeux, quand je fais mes entretiens en présentiel, je donne la feuille directement à la personne donc dans ce cas-ci ce sera plus facile que vous puissiez l'avoir sur votre propre ordinateur plutôt que faire un partage d'écran. Voilà, est-ce que vous avez une question avant de commencer ?

**R3: Non je vous écoute.**

01:22 > 09:45 [Profil]

Doctorante : Ma première question c'est : qu'est-ce que vous avez suivi comme formation et combien d'années d'expérience vous avez dans le milieu de la construction de manière générale ?

**R3: Alors c'est une formation d'ingénieur, une école d'ingénieurs qui s'appelait l'Ecole Supérieure de l'Energie et des Matériaux, qui a désormais rejoint un réseau d'écoles d'ingénieurs qui s'appelle Réseau Polytech donc ça s'appelle désormais Polytech Orléans puisque c'est basé à Orléans. Donc une formation d'ingénieur avec une spécialité qui était l'ingénierie géologique. J'ai tout de suite enchaîné, à l'issue de mon diplôme, dans le domaine du bâtiment puisque j'ai commencé en 1988 par un groupe de construction, le groupe Bouygues. Puis j'ai enchaîné sur un groupe de contrôle technique, le groupe Socotec, et depuis 2005 exactement je suis au sein du groupe Mon entreprise. J'ai commencé par la construction, le contrôle technique, puis désormais la maîtrise d'ouvrage.**

Doctorante : D'accord. Dans votre pratique professionnelle qu'est-ce que vous avez comme utilisation du numérique ? Est-ce que c'est quelque chose que vous utilisez régulièrement, le BIM en particulier et qu'est-ce que vous en pensez de manière globale?

R3: Alors actuellement le numérique est au cœur de l'activité, de notre activité, puisqu'en fait je suis en charge d'une direction métier, la direction du patrimoine groupe qui a pour vocation de mettre à disposition des entités opérationnelles du groupe, les procédures, les méthodologies, les outils qui seront de nature à faciliter leurs interventions et aussi à encadrer leurs interventions sur le domaine de la gestion patrimoniale au sens large, la stratégie de la gestion patrimoniale et de la maîtrise d'ouvrage. La plupart de ces procédures, de ces outils, de ces stratégies sont souvent associés à des applications numériques. On s'appuie beaucoup sur tout ce qu'on peut associer à la description du patrimoine, qui est désormais dématérialisé sous forme de bases de données, donc ça va par la description technique, ça passe aussi par la géolocalisation du patrimoine. Toutes ces informations, donc dématérialisées, servent à construire en fait les différents plans d'action qui s'associent à ces stratégies. Donc si on prend l'exemple de la performance énergétique, notre sujet c'est de piloter un plan stratégique énergétique donc d'amélioration de l'efficacité énergétique du patrimoine et pour orienter, pour cadrer, l'action des opérationnels qui ensuite vont faire les travaux de rénovation énergétique on les aide en qualifiant le patrimoine sur cet aspect de la performance énergétique, des émissions de gaz à effet de serre. Et pour ça on s'appuie sur des outils qui décrivent le patrimoine. Par exemple sur ce sujet de la performance on a à la fois un outil qui gère les diagnostics de performance énergétique, donc qui qualifie le patrimoine en fonction de ses caractéristiques énergétiques, et puis un outil qui sert à suivre les travaux énergétiques en particulier via une base qu'on appelle la base CEE, la base de Certificats d'Economie d'Energie, qui qualifie elle les travaux qui ont été réalisés sur le patrimoine puisque ça passe ensuite par un filtre d'instruction du dossier certificat d'économie d'énergie qui décrit précisément le type de travaux qui a été réalisé.

Doctorante : A votre poste actuellement, est-ce que vous avez encore une manipulation personnelle de ces outils-là ou vous êtes plus dans la gouvernance ?

R3: Ca m'arrive, mais effectivement ce n'est pas mon activité principale, je suis plus dans la gouvernance. Par contre j'ai la responsabilité de ceux qui utilisent quasiment tous les jours ces outils-là. Ca m'arrive de les utiliser mais plus de manière régulière.

Doctorante : D'accord. Et donc dans vos postes précédents vous avez été plus amené à utiliser des outils BIM ?

R3: Oui, dans les postes précédents et même au sein de Mon entreprise j'ai commencé effectivement à travailler sur les aspects de sécurité du patrimoine et donc à travailler sur l'ensemble de données qu'on pouvait avoir sur le patrimoine sur ces aspects de sécurité.

Doctorante : D'accord. Quand vous utilisez le mot "patrimoine" vous voulez dire l'ensemble des biens qui sont sous votre gestion ou des bâtiments à valeur patrimoniale particulière ?

R3: Je parle de l'ensemble des résidences qui constituent l'ensemble du parc immobilier géré par les équipes Mon entreprise.

Doctorante : D'accord.

R3: Alors il y a des parcs en propriété et d'autres qui sont en gestion "pour/contre" c'est-à-dire pour lesquels on a des mandats de gestion. Mon entreprise n'est pas forcément propriétaire des 530 000 logements qui sont gérés mais assure les mêmes missions de gestion de stratégie patrimoniale.

Doctorante : D'accord.

R3: Le groupe c'est une filiale de la caisse des dépôts, donc c'est une société de droits privés même si la caisse des dépôts c'est un établissement public, la Caisse des dépôts a un certain nombre de filiales de droits privés. C'est une des deux filiales immobilières du groupe Caisse des dépôts, c'est plutôt la filiale immobilière dite d'intérêt public ou d'intérêt général puisque la plus grande partie d'activité c'est le logement social, donc c'est une mission d'intérêt général. Sur les 500 000 logements que j'ai évoqués tout à l'heure il y en a près de

300 000 qui sont des logements sociaux. Il y a une autre filiale qui s'appelle Icade qui elle est une filiale d'activité concurrentielle puisqu'elle intervient soit sur la gestion du logement du patrimoine tertiaire soit sur de la promotion, c'est-à-dire de la construction de logements pour l'accession donc pour les vendre aussitôt.

Doctorante : Oui, ok.

R3: Donc notre périmètre d'action c'est l'ensemble du territoire national c'est-à-dire la France métropolitaine et depuis trois ans maintenant on a aussi des filiales Outre-mer que l'on appelle les SIDOM, Société immobilière d'Outre-mer en Guyane, Martinique, Guadeloupe, Mayotte et La Réunion.

Doctorante : D'accord, c'est large.

R3: Voilà. Notre sujet c'est d'arriver à justement étendre toute cette procédure sur l'ensemble du périmètre. Par exemple l'Outre-Mer qui a rejoint plus récemment le groupe n'est pas encore complètement dématérialisé en termes de base de données. Donc on est toujours sur des niveaux d'intervention qui sont en évolution continue, on n'a jamais terminé en fait.

Doctorante : Oui, vous avez un niveau d'évolution numérique variable en fonction des territoires c'est ça ?

R3: C'est ça exactement. Plus exactement des sociétés. C'est vrai que concrètement même en métropole on a des sociétés qui ne sont pas forcément toutes au même niveau. Par exemple on a des filiales comme Adoma qui est une des filiales qui portent ce que l'on appelle le logement très social, n'est pas complètement au même niveau de dématérialisation de son patrimoine, des bases de données.

Doctorante : Ok. Du coup comme ça j'ai une idée un peu de votre profil en termes de passé dans la construction et affinité avec le numérique, le BIM en général.

09:45 > 13:38 [Définition des concepts] [Concept architecture durable]

Doctorante : Donc là je vais passer à la deuxième partie. Je voudrais savoir comment vous définiriez l'architecture durable ? Ca ne doit pas forcément être très long, je sais que parfois je pose des questions qui nécessitent un peu de réflexion mais je veux savoir ce qui sort en premier quand on vous parle d'architecture durable.

R3: Pour nous l'architecture durable c'est une architecture qui permettra d'assurer à nos futurs locataires ce qu'on leur doit, c'est-à-dire un confort d'usage sur la durée, tout le temps qu'ils restent dans nos logements. Donc ça part de la sécurité qui est le premier élément essentiel, c'est-à-dire que sur les aspects de sécurité électrique, gaz, risque de chute, on joue bien notre rôle sur ces éléments-là et ça va jusqu'au coût économique, au coût global pour le locataire du logement, c'est-à-dire qu'il y a la quittance, le loyer tel qu'on lui facture et puis il y a ce qu'on appelle les charges locatives qui viennent en plus du loyer qui passent par certains contrats d'entretien et ce qui est la part majoritaire ce sont les consommations d'eau, d'électricité, de gaz, donc les consommations d'énergie. Donc forcément qu'on a une vision très énergétique du caractère durable et des bâtiments donc dans la performance énergétique c'est un sujet. Mais depuis 2021 on a intégré un nouveau type de diagnostic du patrimoine c'est celui de l'adaptation aux changements climatiques puisqu'on est tous à peu près tous convaincu qu'on aura beau continuer à essayer de diminuer nos effets sur les gaz à effet de serre, sur le changement climatique, il y a un certain nombre d'enchaînements climatiques qui sont déjà engagés et donc c'est sous forme d'aléa qu'on risque de se répéter soit de manière plus rapide soit plus forte et donc on va désormais engager le fait de dire, et ça, ça rentre aussi dans ce qu'on doit aux locataires c'est-à-dire une certaine résilience de leur logement, de leur bâtiment en cas d'inondations, mais en particulier aussi le confort d'été c'est-à-dire l'augmentation des températures. Donc on a une vision très orientée donc la première orientation c'est ce que le service rendu au locataire sera le bon, sur toute la durée d'exploitation ce qui est ensuite sous-entendu derrière ça c'est quel sera l'attractivité du patrimoine vis-à-vis

d'autres bailleurs parce que derrière on est une société privée avec une obligation d'équilibre économique et pour ça il faut notre patrimoine garde de la valeur aussi sur la durée c'est-à-dire qu'à un moment donné soit on va le revendre ce patrimoine soit dans les aspects de valorisation qu'on va avoir sur le sujet on doit aussi garantir sa rénovation en particulier pour la société mère Mon entreprise la valeur de la société c'est en grande partie porté par la valeur du patrimoine.

Doctorante : Donc là vous avez balayé pas mal des concepts que j'utilise également pour définir l'architecture durable. Moi initialement je me base sur la définition du développement durable pour l'adapter à l'architecture donc socialement équitable, écologiquement soutenable, économiquement viable et avec la notion aussi de durabilité des projets dans le temps dont vous avez parlé et l'acceptabilité sociale et environnementale.

13:38 > 20:22 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM]

Doctorante : Ayant cette idée en tête, selon vous quelles sont les thématiques que l'on peut traiter via le BIM pour pouvoir concevoir une construction durable ?

R3: C'est une des ambitions qu'on avait et qu'on a toujours avec la maquette numérique c'est que ce soit un outil dès le départ, un outil d'aide à la décision lors de la conception, de pouvoir simuler, soit des effets d'atténuation, c'est-à-dire de simuler la performance et simuler l'impact de choix des procédés constructifs justement sur cette performance intrinsèque des bâtiments, c'est ce que l'on peut appeler le "BIM to Sim" c'est-à-dire comment on va utiliser cela. On a désormais cet intérêt aussi de pouvoir qualifier ces nouveaux projets en termes d'adaptation au changement climatique. L'étape dont je vous parlais tout à l'heure de dire qu'on essaie de qualifier notre patrimoine existant en essayant de voir s'il était plus ou moins exposé d'abord à des aléas et ensuite plus ou moins vulnérable à ces aléas. On a la même possibilité d'apprécier la qualité d'un nouveau projet avec une maquette numérique ça pourrait être simplifié le fait de dire est-ce que l'on peut simuler non seulement la conformité à la réglementation actuelle et donc aux conditions météorologiques actuelles mais à des météos plus agressives qui vont venir avec le changement climatique. Donc oui on voit bien dans la maquette numérique la possibilité d'être dans l'aide à la décision. Ensuite notre sujet nous c'est comment de la maquette numérique on passe à la maquette conception on passe aux travaux on passe à la maquette de gestion et là on y voit aussi la possibilité, avec cette dématérialisation et cette transformation du patrimoine en données. Aujourd'hui on est plus encore dans la hiérarchisation des actions en fonction de ce qu'on connaît du patrimoine peut-être qu'un jour l'étape suivante, c'est ce que les start-up et certaines entreprises commencent à travailler, c'est travailler plus sûr de l'intelligence artificielle c'est-à-dire que même si on n'a pas toutes les données de description du patrimoine, est-ce qu'à partir de quelques-unes on peut déjà construire des projections ou des simulations qui seraient de nature à pouvoir quand même agir si on ne connaît pas tout du patrimoine. Donc identifier quelles sont les données les plus importantes, les plus structurantes qui nous permettent de prendre les meilleures décisions possibles c'est un peu dans cet esprit-là qu'on travaille aujourd'hui, sur cette notion de maquettes numériques à la fois de conception et de gestion.

Doctorante : Oui, ok. Quand vous parlez de gestion est-ce que l'on peut parler aussi de maintenance ?

R3: Oui, c'est effectivement le troisième aspect peut-être que je n'ai pas abordé c'est pendant toute la phase d'exploitation maintenance on perçoit déjà qu'on peut simplifier ou en tout cas fluidifier les relations entre les différents acteurs, c'est-à-dire il y a nous, les propriétaires bailleurs, qui systématiquement faisons appel à des prestataires des entreprises qui vont faire justement des travaux soit d'exploitation des équipements soit de remise en état de maintenance des composantes du bâtiment et puis on a toujours notre locataire qui est dans le dispositif c'est-à-dire que c'est une relation finalement tripartite. Nous on a besoin de communiquer avec nos prestataires, de donner un certain nombre d'axes d'orientation, de demandes d'intervention à ces prestataires. Et puis on a les locataires qui eux ont aussi la capacité de détecter des

anomalies dans leur logement et qui vont donc nous solliciter directement mais l'idée ce serait qu'ils puissent solliciter directement l'entreprise chaque fois, ça peut aller plus vite de solliciter directement l'entreprise plutôt que de passer par le bailleur qui ensuite sollicite l'entreprise. Et puis en retour, nous on a un certain nombre d'informations qu'on peut donner, soit que l'entreprise prestataire peut donner directement au locataire, soit que nous on peut aussi donner directement en termes d'informations donc si on élargit dans la description du patrimoine et dans les conditions de fonctionnement du logement qu'on peut communiquer, échanger avec le locataire ça vaut le coup de se raccrocher sur des bases de données. Il y a des bases de données de description du patrimoine tel qu'on a pu les avoir au début avec la maquette numérique que l'on peut avoir quand on a vectorisé le patrimoine existant et puis il y a des nouvelles informations qui interviennent par soit des diagnostics techniques immobilier qu'on réalise régulièrement parce qu'ils nous sont demandés, c'est une information qu'on doit donner au locataire au moment où il rentre dans le logement en disant il y a de l'amiante ou pas d'amiante, le dpe c'est telle étiquette telle consommation, le plomb,... tous les diagnostics techniques immobiliers donc ce style d'informations et puis il y a la version suivante qui est de dire on instrumente le patrimoine pour en suivre le bon fonctionnement avec des mesures de température mesure des courbes métriques, tous les capteurs qu'on peut imaginer, la vidéoprotection qu'on met en place aussi et puis de ces informations qui arrivent elles aussi sous une base de données et donc est-ce qu'on les fait transiter par un support type maquette numérique pour localiser ces informations-là dans le bâtiment mais aussi est-ce qu'on les renvoie directement vers le locataire ou vers le prestataire puisque les informations de température anormale ça peut être aussi une alerte pour le prestataire qui va faire la chaufferie par exemple. Et donc il y a tout un circuit de données qu'aujourd'hui on n'est pas encore à 100% prêt à le faire et on a une réflexion qui est très fortement engagée sur le fait de travailler sur des dispositifs de plateforme prestataire qui ensuite pourront s'appuyer sur toutes les données dont on dispose déjà et qui au fur et à mesure des projets pourraient se renforcer.

20:22 > 23:45 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale]

Doctorante : Je vais orienter la suite de mes questions sur le concept de durabilité sociale. A nouveau qu'est-ce que vous vous entendez quand je parle de durabilité sociale ?

R3: Pour moi c'est une partie que j'ai appelée de manière générale le confort qu'on doit aux locataires, le confort d'usage, c'est-à-dire à la fois, s'agissant notamment de logements sociaux, c'est comment on fait tous nos meilleurs efforts pour que le locataire en place ait un minimum de charges locatives supplémentaires au loyer ou voire même comment on peut diminuer aussi le loyer, s'agissant encore une fois de logements sociaux. Donc comment on joue notre rôle d'accompagnement des locataires dans la maîtrise de leurs charges dans leur logement. On a tout un tas d'actions qui rentrent dans notre plan d'action, il y a ceux qui vont aussi sur l'accompagnement. Par exemple on identifie certaines résidences dans lesquelles on peut désigner certains locaux qui sont destinés à accueillir des services complémentaires pour les locataires comme un dispositif qui s'appelle Accent qui fait le lien avec soit Pôle Emploi soit avec d'autres dispositifs de formation pour essayer d'intégrer au sein de la résidence des services qui sont de nature à faciliter le retour à l'emploi des locataires, voilà on a ce type d'actions. On a les actions liées à des services sur la mobilité, on a déployé une concession d'installation de bornes de recharge des véhicules électriques donc les locataires qui sont intéressés d'avoir des véhicules électriques parce qu'ils ont eux-mêmes envie de ne pas consommer de carburant fossile, on essaye de mettre le meilleur dispositif possible pour que ça leur coûte aussi le moins cher possible et surtout qu'il ait une prise de recharge sur leur place de parking. Donc c'est ce type d'actions que l'on peut mettre en place mais c'est effectivement d'apporter les services. Après il y a aussi le fait qu'on essaye de développer des dispositifs de lutte contre la précarité énergétique même si une fois qu'on a fait les travaux dans un bâtiment pour améliorer sa performance, on sait très bien que l'usage qu'en fait le locataire de son logement est important dans le bon maintien des économies de charges mais aussi de l'aider à identifier toutes les aides qu'il peut disposer en termes de chèques énergie,...



Là aussi il y a ce type d'actions qui est en cours donc voilà c'est assez ouvert à notre appréciation de ce que l'on peut appeler un bâtiment durable, en tout cas responsable.

23:45 > 25:35 [ Pas de thématique]

Doctorante : A partir de maintenant on va utiliser le document que je vous ai envoyé tout-à-l'heure par mail.

R3: Oui.

Doctorante : Est-ce que vous l'avez sous les yeux ?

R3: Je l'ai sous les yeux.

Doctorante : Ok, parfait. Donc j'ai utilisé la littérature pour pouvoir théoriser un peu ce que pouvait être durabilité sociale dans les pratiques BIM et c'est vraiment sur uniquement cet aspect de la durabilité que mon travail se concentre et donc j'ai identifié certains critères de durabilité sociale que vous avez dans la première colonne et puis dans la deuxième colonne vous avez des exemples qui peuvent illustrer l'utilisation du BIM en faveur de ce critère donc par exemple dans le premier critère sécurité et dans la possibilité d'interaction l'utilisation des données de précédents chantiers pour pouvoir identifier des accidents fréquents. Donc là ce qu'on va faire c'est qu'on va passer en revue ce tableau ensemble et pour chacun des critères donc alors pas forcément pour chacun des critères qui sont dans la liste d'exemple mais plutôt de manière générale mais les exemples peuvent vous aider pour vous remémorer des situations vécues ou autre chose à chaque fois on va essayer de réfléchir sous forme de passé, présent, futur en se disant est-ce que c'est quelque chose que vous avez déjà expérimenté par le passé, est-ce que c'est quelque chose que vous continuez d'expérimenter ou que pour une raison ou une autre que vous avez dû abandonner est-ce que c'est quelque chose que vous pensez continuer d'expérimenter ou que vous n'avez encore jamais expérimenté mais que vous souhaitez expérimenter dans le futur et après également à chaque fois je vous poserais la question de si on n'avait aucune contrainte technique économique humaine dans l'idéal est-ce qu'il y a d'autres critères qui pourraient ressortir. Ca c'est ce que l'on fera à la fin après avoir passé les critères en revue et il y a certaines choses que vous m'avez déjà parlé mais du coup peut-être que le fait de relire les exemples vous fera peut-être revenir des informations supplémentaires.

25:35 > 33:13 [Sécurité]

Doctorante : Le premier point c'est la sécurité, je vais survoler tous les exemples mais vous n'êtes pas obligé comme je le disais de réagir à tous ces exemples mais je vais les survoler et ensuite vous me ferez votre réaction sur ce concept de passé, présent et futur. Donc le premier critère c'est la sécurité avec les possibilités d'interaction qu'on a identifiée c'était l'utilisation des données des précédents chantiers pour pouvoir identifier des accidents fréquents. Pouvoir faire de la vérification des règles de sécurité que ce soit avec les gens sur chantier ou avec les occupants. L'estimation du coût des équipements de sécurité. La localisation sur le chantier en temps réel des ouvriers et des équipements. L'utilisation des capteurs dans le casque des ouvriers justement pour pouvoir les localiser sur chantier. La visualisation des espaces de sécurité requis pour manipuler les équipements, donc à nouveau tout ça s'est fort orienté chantier parce que pour l'instant c'est ce qu'on a identifié. Et encore à nouveau sur le chantier l'identification des conflits horaires entre les équipes et les équipements lourds. Puis après là on passe plutôt en phase d'exploitation avec la gestion des interventions en cas d'incendie et l'entraînement et la formation des usagers à la sécurité.

R3: Alors, là les exemples qui sont cités ce sont effectivement des exemples de chantier donc on est moins impliqués parce qu'on fait appel à des entreprises, à des maîtres d'oeuvre, à des bureaux d'études qui gèrent les chantiers pour notre compte. Par contre on a cette responsabilité de maître d'ouvrage dans les principes généraux de prévention du code du travail, on est impliqués c'est-à-dire qu'on doit s'assurer que les différents

acteurs qui sont en place mettent bien en place les éléments de ce sujet. Aujourd'hui ça n'existe pas mais ce que je vois pour le futur c'est par exemple on a nous une responsabilité de mettre en place un coordinateur sécurité et la protection de la santé qui fait ce qu'on appelle un plan général de coordination pour la sécurité et la protection de la santé et on peut très bien imaginer effectivement que s'il avait à disposition une maquette numérique ça serait une façon un peu plus concrète et personnalisée sur le projet d'identifier quels sont les principaux risques et les mesures de sécurité et de prévention à prendre donc moi je vois bien le fait de dire que dans, nous, notre responsabilité de maître d'ouvrage de donner un support supplémentaire à ce coordinateur pour définir les principes généraux de sécurité ça peut être intéressant. Parce que aujourd'hui on est plutôt sur des documents généraux en disant "quand vous serez sur le bord d'un plancher vous mettrez des garde-corps",... mais s'il a plus d'éléments pour dire à tel endroit du bâtiment il y a tel risque particulier et à ce moment-là c'est à ça qu'on fera une protection particulière c'est plus simple. Et puis oui les conflits horaires je pense qu'au fur et à mesure que les entreprises font leur planning de travaux parce que jusqu'à présent on parle beaucoup de conflits techniques puisque la maquette numérique peut nous aider à résoudre les conflits techniques c'est-à-dire une réservation qui n'est pas au bon endroit ou un tuyau qui passe dans une poutre ou un truc comme ça mais on pourrait très bien imaginer qu'on puisse aussi gérer les conflits d'interventions au fur et à mesure des chantiers pour dire qu'on ne va pas mettre les menuiseries avant d'avoir fait les voiles béton,... et donc on peut essayer de mieux personnaliser en termes de calendrier interventions.

Doctorante : Est-ce qu'on peut dire que pour l'instant c'est quelque chose que vous n'utilisez pas forcément le BIM pour la sécurité ?

R3: Nous comme je le disais tout à l'heure l'aspect sécurité c'est la sécurité future du bâtiment c'est-à-dire l'utilisation en sécurité par les locataires du bâtiment et donc il y a la localisation par exemple des dispositifs de sécurité futur c'est-à-dire sécurité incendie, est-ce qu'il y aura des désenfumages, ensuite pour nous planifier la bonne exploitation de ces dispositifs de sécurité c'est-à-dire que s'il y a des désenfumages ça veut dire qu'il faut des contrats d'entretien de sécurité incendie qui traitent de ces désenfumages. Nous dans la maquette numérique conception travaux ce qui nous apporte c'est plutôt la bonne description de ces futurs équipements de sécurité qui assureront la future sécurité d'utilisation du bâtiment. Pendant la phase travaux c'est vrai qu'aujourd'hui ce n'est pas rentré dans le... mais ça peut être un cas d'usage pour nous, supplémentaire qui est de faciliter le travail ou de fiabiliser le travail et de le rendre encore plus efficace de ceux qui sont en charge de la sécurité, au final on porte cette responsabilité-là d'une manière ou d'une autre.

Doctorante : Et concernant la partie plutôt en phase d'exploitation avec la gestion des interventions en cas d'incendie et l'entraînement et la formation des usagers à la sécurité est-ce que c'est quelque chose qui vous parle ?

R3: Oui puisqu'au moment où on construit le bâtiment il y a donc ce fameux plan de sécurité pour la phase travaux et il y a aussi cette responsabilité d'identifier les interventions ultérieures des ouvrages, ces fameux travaux de maintenance et ensuite on porte nous la responsabilité que les entreprises qui interviennent pour l'entretien des désenfumages ou l'entretien des toitures terrasses, ils le fassent en sécurité donc c'est important qu'on prévoie les conditions d'accès à ces équipements et donc on doit pouvoir vérifier effectivement sur une maquette numérique la façon dont on pourra,... alors que sur un plan c'est peut-être un peu moins évident il y a une trappe là et vous passerez par cette trappe-là pour accéder à tel endroit, c'est dessiné sur le plan mais peut-être qu'on peut mieux en vérifier la vraie accessibilité ou le positionnement si on prévoit un local technique où en cours de route on met finalement un équipement VMC par exemple deux fois plus grand que ce qu'on avait prévu au départ, ça passe toujours dans le local technique mais on ne peut pas tourner autour pour l'entretien donc ça peut être beaucoup de choses donc oui on voit bien qu'il peut y avoir une grille de lecture de la maquette numérique dédiée aux conditions d'entretien futur du bâtiment.

Doctorante : Ok.

R3: Après on peut aussi imaginer que sur les aspects sécurité comment on peut aussi imaginer la façon dont l'information des locataires des occupants sur les conditions d'évacuation en cas d'incendie c'est quelque chose aussi qui peut être analysé sur le bâtiment ou à quel endroit finalement on mettra les principales consignes ou s'il y a des conditions particulières.

33:13 > 37:44 [Confort des usagers]

Doctorante : Je pense qu'on peut passer au point suivant sauf si vous voulez compléter. Le point suivant c'est le confort des usagers dont vous avez déjà un petit peu parlé donc ça va sans doute être plus parlant pour vous. Dedans on avait la collecte des données liées à l'occupation du bâtiment, la simulation de l'éclairage naturel, l'identification des causes d'inconfort lié à l'agencement des espaces, le monitoring de la production d'électricité et de chauffage, l'estimation des coûts liés à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers. Donc il y a certaines choses que vous avez déjà mentionnées.

R3: Oui bien sûr tout ça c'est des interactions avec le BIM en tout cas ce sont des sujets de préoccupation systématique c'est-à-dire que dans les grilles d'analyse d'une maquette numérique que j'évoquais tout-à-l'heure cette grille-là elle est forcément présente dans la conception du logement et de son utilisation future. Après on peut sans doute aller plus loin dans l'agencement des espaces ça fait partie de nos grilles de lecture actuelle mais on ne va pas jusqu'à, par exemple, positionner du mobilier et vérifier très clairement comment on pourrait avoir le minimum de mobiliers dont doit disposer un occupant. Et là c'est plutôt avec la maîtrise d'oeuvre qu'il y a un travail à faire encore avec eux.

Doctorante : Est-ce qu'on peut dire que ce sont des choses que vous ne concrétisez pas encore tout-à-fait mais qui en tout cas sont au coeur de vos préoccupations quand même ?

R3\_ : Oui, ce qu'on concrétise là aujourd'hui c'est qu'on a passé le cap en disant on va faire avec la maquette numérique. Maintenant, ce qu'on n'a pas encore passé comme étape c'est qu'on ne fait pas 100% de maquettes numériques sur l'ensemble de nos opérations pour deux principales raisons. La première raison c'est qu'une grosse part de nos constructions nouvelles passe par des promoteurs donc des ventes en état futur d'achèvement, des VEFA, et sur lesquels on n'est pas maître d'ouvrage, on achète théoriquement un produit clé en main. Et donc on essaye parce qu'on a un certain poids malgré tout vis-à-vis de ces promoteurs à choisir les opérations qui nous semblent être les plus pertinentes mais par exemple 100% des promoteurs n'utilisent pas la maquette numérique donc on a encore beaucoup de logements qui arrivent sans maquette numérique. Et même ceux qui en font, ils ont leur grille de lecture plus économique au sens de la construction que nous au sens du coût global. Donc ce n'est pas aussi simple que ça de monter en puissance rapidement. Ensuite on a un deuxième aspect c'est-à-dire que même sur l'autre partie donc sur la maîtrise d'ouvrage interne au Mon entreprise là on est dans une étape importante de monter en compétence de nos chargés d'opérations pour qu'il sache exactement quel est la politique qu'on souhaite mettre en oeuvre en termes d'analyse des maquettes numériques et donc de chartes qui vont être mises en oeuvre d'abord par les maîtres d'oeuvre ou les entreprises générales donc on est en pleine montée en puissance donc on a bien identifié dans les cas d'usage qu'on veut voir mettre en oeuvre toute cette partie de confort des usagers donc ça fait partie des cas d'usages alors que contrairement ce que je disais tout-à-l'heure sur l'aspect sécurité sur chantier ce n'est pas aujourd'hui notre cas d'usage prioritaire même si présent qu'on pourrait y gagner aussi mais on ne va pas tout faire en même temps, on a besoin de prioriser. Et puis le dernier point le fait que tous les acteurs, maître d'oeuvre, entreprise plus ou moins importante n'ont pas le même niveau de maturité en termes de maquette numérique tous ça, ça se fait encore progressivement on est encore loin d'une production 100% BIM.

37:44 > 42:02 [Communication avec les usagers]

Doctorante : En parlant de ce niveau de maturité numérique comment pensez-vous que les locataires de vos logements puissent accueillir ce genre de technologie ? Est-ce que vous avez déjà anticipé un peu cette problématique ou pas forcément ?

R3: Alors il y a deux aspects, il y a l'aspect plutôt commercial, relation commerciale avec les locataires. Donc est-ce qu'une maquette numérique par exemple permet de faire une visite virtuelle à distance du logement, ça, ça peut bien sûr intéresser la direction du service client mais c'est un service ponctuel, pas sur la durée. Ensuite pendant la durée de gestion du patrimoine, il y a des services numériques mais que je n'associe pas aujourd'hui complètement avec la maquette numérique c'est-à-dire ils sont intéressés par tout ce qui est bâtiment connecté "smart building" où là on va leur donner des informations sur la possibilité de gérer à distance leur dispositif de chauffage, pour certain patrimoine de gérer à distance l'ouverture et la fermeture des volets, le contrôle d'accès, la possibilité de laisser entrer ou pas les visiteurs à distance dans la résidence, il y a tous ces aspects-là, donc la vidéoprotection que j'évoquais tout-à-l'heure donc il y a tous ces aspects de service. Ils sont plutôt dans l'ordre, on a fait des enquêtes auprès des locataires sur quels équipements ils souhaitaient voir venir en premier. Le premier c'est la sécurité, c'est tout ce qui est lié à la sécurité. Le deuxième, même si je ne suis pas sûr qu'ils voient exactement ce qu'il y a derrière, c'est tous les aspects d'économie d'énergie c'est-à-dire comment ces services-là peuvent les aider à faire des économies d'énergie. Et puis le troisième c'est tout ce qui permet d'avoir de la formation sur des demandes d'intervention qu'ils peuvent faire, c'est ce que j'évoquais tout-à-l'heure avec la relation tripartite, prestataire bailleur c'est comme la plupart d'entre nous commence à avoir l'habitude de dire quand on commande quelque chose à distance on sait où est notre colis, on sait quand est-ce qu'il part, on sait où il en est, on sait à quel jour il va arriver voir jusqu'à quelle heure il va arriver. Ils ont la même envie d'avoir ce type d'informations sur des interventions liées, il y a une panne, il y a quelqu'un qui leur répond en disant on a bien pris en compte votre panne, on va venir tel jour à telle heure et puis à la fin on fait signer à distance numériquement le fait que c'est fait ou que ce n'est pas fait. {+5} Après on peut imaginer aussi le diagnostic à distance c'est-à-dire que dans ce dispositif de plateforme prestataire c'est de dire si on a une information très détaillée de la description du patrimoine qu'on sait donner au prestataire il peut essayer de commencer à faire des diagnostics à distance c'est-à-dire qu'il y a une panne, il sait quel type de robinet c'est, on peut même imaginer qu'il prenne contact avec le locataire et que par teams ou par d'autres applications il puisse avoir une photo de la panne ou de l'anomalie. Et donc là on peut imaginer si en plus il a accès par exemple aux plans de manière dématérialisée il va tout de suite se dire qu'il peut commander du matériel avant même d'aller sur place. Donc oui, vis-à-vis des locataires c'est la sécurité, les économies de charges puis comment quand je demande une intervention elle est réglée rapidement.

42:02 > 50:09 [Processus d'apprentissage]

Doctorante : Le troisième point ça concerne les processus d'apprentissage donc il y a une partie qui concerne les étudiants du secteur de la construction et aussi une partie qui concerne les professionnels de la construction donc qui consiste à supposer qu'ayant une maquette numérique on peut avoir une meilleure visualisation des espaces et mieux comprendre comment aménager ces espaces et il y a aussi la partie apprentissage des principes de construction durable par simulation donc là c'est plutôt dans la phase conception mais en tout cas il y a toute cette partie de compréhension et d'aménagement des espaces, de mieux visualiser les espaces et je me souviens que c'est un sujet qui est un petit peu abordé pendant le colloque justement d'une forme d'organisation où je ne sais plus si c'était vous ou si c'était un autre intervenant qui disait que parfois pour les usagers ce n'est pas forcément une aide d'avoir cet outil 3D. Je ne sais pas si vous avez ...

R3: Effectivement je pense qu'il y a malgré tout une forte demande c'est-à-dire, pas tant pour les nouvelles opérations pour la construction c'est un peu compliqué de savoir quels sont les locataires qui seront présents

donc c'est un peu compliqué d'aller interroger sur les cités ou même présenter des projets à des gens dont on ne sait pas s'ils viendront ou pas par contre là où il y a une forte demande, par contre il y a le sujet des visites virtuelles que j'expliquais tout-à-l'heure, ça peut quand même être un intérêt. Par contre si je reviens à l'existant dès lors qu'on intervient pour faire des rénovations là il y a une très forte demande des locataires de dire "Vous ne nous associez pas suffisamment à la préparation du programme de travaux, vous allez faire des travaux alors que nous on préférerait que ce soit un autre sujet qui soit amélioré et pas forcément, le hall d'entrée". Ils vont dire ça "On s'en fout ce qu'on voudrait c'est que vous nous rénoviez les salles de bain qui ne sont pas bien" etc. Donc il y a une forte demande, alors est-ce que la maquette numérique peut être un outil pour les aider à prévisualiser ce que sera le projet, ce que nous on propose, et est-ce que ça va vraiment leur rendre le service qu'ils attendent, je pense qu'ils sont demandeurs après est-ce qu'ils se rendent vraiment compte une fois qu'on leur a présenté ça, je pense qu'ils n'ont pas tous la même perception du sujet mais en tout cas je pense que c'est bien reçu même si ce n'est pas complètement compris. On a sans doute des progrès à faire dans ce qu'il faut montrer en 3D, ce qu'il faut montrer en 2D, ce qu'il faut montrer en extérieur, à l'intérieur, il y a sans doute du travail à faire entre les maîtres d'oeuvre, les maîtres d'oeuvre ne sont sans doute pas préparés à présenter correctement un projet avec ces nouveaux outils. Il y a peut-être besoin de plus d'aspects de compétences et de communications sur le sujet.

Alors par contre pour les étudiants et les professionnels de la construction je pense qu'ils ont un peu plus l'habitude donc ça peut sans doute pour les étudiants les faire intégrer dès le départ. Les professionnels de la construction, il y a plusieurs niveaux de professionnel, il y a les entreprises générales, il y en a qui sont staffés, il y en a qui ont un encadrement important. Par exemple si on travaille avec le plombier du coin ou le maçon du coin il n'a peut-être pas la même perception non plus, il a commencé à travailler avec un plan, il sait travailler avec un plan en 2D ça lui va bien.

Doctorante : Et vous ?

R3: Nous à notre niveau, est-ce que ça a un intérêt pour les équipes des collaborateurs Mon entreprise, je pense oui pour les chargés de projet, des chargés d'opération, en phase d'exploitation maintenance je pense que c'est plus les entreprises qui pourraient avoir cette visualisation. Nous ce qu'on peut essayer d'imaginer avec ce type d'outil c'est d'optimiser les coûts de maintenance donc une part importante de ces coûts de maintenance c'est les déplacements, c'est quand les entreprises viennent, se déplacent, vont commencer à travailler, s'aperçoivent que la panne à laquelle ils pensaient n'était pas celle-là, qu'ils n'ont pas les matériaux, qu'ils sont obligés de rentrer chez eux puis reviennent le lendemain parce qu'ils n'ont pas pu réparer, donc tout ce qu'on peut diagnostiquer à distance et anticiper à distance ça a un intérêt. Par exemple sur les plans on n'a pas toujours la hauteur sous plafond si on est capable de lui donner une vue 3D où il saura que la hauteur sous plafond c'est autant et que la pièce qu'il a apportée ou la menuiserie, la porte qu'il doit changer elle fait telle hauteur c'est un plus.

Doctorante : Et vous en tant que maître d'ouvrage est-ce que ce passage à la maquette numérique vous a appris ou vous a aidé à mieux comprendre ces espaces ou de toute manière vous aviez déjà l'habitude avec les plans 2D que vous saviez déjà manipuler depuis longtemps et donc ça n'a pas forcément été une plus-value, en tout cas pour votre compréhension des espaces.

R3: Oui je pense que ça améliore la compréhension mais on reste aussi dans notre rôle de maître d'ouvrage c'est-à-dire que quand on dit maître d'ouvrage on peut avoir un avis sur ce que proposent les maîtres d'oeuvre mais c'est d'abord les maîtres d'oeuvre qui vont avoir cette compétence et cette expertise-là donc on peut lui dire par expérience. On a des guides de prescriptions techniques, des guides de performances qui sont plus des guides d'objectifs de résultat et pas tant des objectifs de moyens c'est-à-dire qu'on parlait tout à l'heure de l'éclairage naturel on va pouvoir dire voilà nous on va avoir des logements transversaux pour des sujets d'éclairage mais aussi de ventilation de confort d'été par la suite mais savoir si un logement est traversant ou pas traversant ça c'est des sujets qui nous intéressent mais après dans l'organisation, parce

qu'au départ il y a quand même l'architecture qui est portée par le maître d'oeuvre qui est contraint forcément.

Doctorante : En fait je posais cette question dans le sens où je me disais que peut-être que ça peut arriver que vous faites une demande et on vous présente un plan en disant voilà le plan répond à la demande mais en fait parce que vous avez mal compris le plan et vous avez cru la personne en face de vous qui avait mal compris votre demande, il y a peut-être à la fin un résultat qui ne correspondra pas.

R3: Vous avez raison madame, si on le formule comme ça c'est effectivement un cas d'usage qu'on retient de la maquette numérique c'est-à-dire qu'on espère avec cette maquette numérique avoir là aussi une meilleure, à la fois fiabilité et une meilleure productivité dans l'analyse des projets qui nous sont transmis c'est-à-dire comme je vous disais on a un nombre de guides, de prescription qu'on souhaite voir appliquer sur les projets, sur les bases pour pouvoir le travailler en checker pour employer le terme maquette numérique avec une grille d'analyse qui va nous permettre rapidement de dire sur tel projet ça n'est pas conforme à ce qu'on souhaite voir donc l'idée c'est ça et c'est de pouvoir faciliter cette analyse au regard d'un certain nombre prérequis qu'on souhaite voir. Ca fait partie des cas d'usage qu'on veut porter avec cette maquette.

50:09 > 53:44 [Patrimoine culturel]

Doctorante : Alors le point suivant il concerne le patrimoine culturel donc je ne sais pas si ça peut vous être arrivé d'avoir des logements qui s'inscrivaient dans un cadre culturel particulier. Ce qu'on imagine là, c'était la modélisation du bâtiment à différentes époques donc là c'est plutôt à nouveau pour vraiment le côté culturel d'avoir une bibliothèque numérique des bâtiments historiques etc., la surveillance des bâtiments, la maintenance et l'entretien des bâtiments et la réduction des coûts de maintenance mais du coup tout ça vraiment orienté sur les bâtiments à valeurs patrimoniales particulières. Et en fait je pose cette question parce que j'ai lu une étude récemment sur un projet, le projet Saperlo je ne sais pas si vous en avez déjà entendu parlé c'est dans le nord de la France, où justement c'était des logements sociaux qui se situaient dans un ensemble d'anciens logements ouvrier qui étaient classés qui avaient une valeur patrimoniale d'ensemble et il a fallu rénover énergétiquement ces logements donc on a dû isoler par l'intérieur et par exemple ça a posé problème avec les gens qui vivaient déjà dans ces logements puisqu'ils ont perdu en superficie donc certains de leurs meubles ne rentraient plus etc. Je ne sais pas si c'est quelque chose que vous avez déjà été confronté ?

R3: Dans les Hauts de France on a ce cas de figure aussi c'est une des filiales de Mon entreprise qui s'appelle "Maison et cité", que vous devez sans doute connaître. Maison et cité qui est en fait une société qui a un patrimoine un peu particulier puisque c'est le patrimoine des houillères des Hauts-de-France c'est-à-dire que c'était des logements de mineurs, donc d'anciens mineurs désormais et des "ayant droits" qui sont les familles des anciens mineurs qui ont droit au logement jusqu'à leur mort. Et donc au fur et à mesure qu'il y a de moins en moins de mineurs, de moins en moins d'ayants droit ces logements-là sont ensuite loués à tout un chacun. Je ne sais pas si on peut appeler ça du patrimoine historique mais il y a une partie importante de ce patrimoine de maison historique classé à l'UNESCO et donc ils ont des contraintes fortes, celle que vous venez de citer c'est-à-dire qu'on ne peut pas isoler par l'intérieur car les façades sont protégées et donc ça passe effectivement par des réductions de surface parce qu'on a cette injonction contradictoire de dire qu'il faut préserver le bâtiment mais on doit aussi améliorer les consommations et les performances énergétiques du patrimoine. Donc là effectivement les équipes de Maison et Cité sont contrainds. Alors Maison et Cité fait partie de sociétés qui sont en pleine vectorisation de leur patrimoine justement et qui font un travail important justement sur la dématérialisation de leur patrimoine et donc ce patrimoine-là en particulier. Donc ils modélisent et vectorisent l'ensemble du patrimoine et ça vaut pour la surveillance bien sûr, la maintenance et réduction des coûts de maintenance sur ce patrimoine-là en particulier donc on a ce cas de figure mais qui est vraiment très localisé sur un patrimoine particulier dans les Hauts-de-France après dans le reste,

l'ensemble d'activités du groupe il y en a très peu, si peut-être je me souviens d'avoir vu à Lyon un bâtiment très ancien qui était aussi classé au patrimoine qui malgré tout comprenait des logements sociaux mais c'est vraiment des exceptions.

Doctorante : Ok.

53:44 > 57:53 [Communication avec les usagers]

Doctorante : Les deux derniers points se rejoignent un petit peu car c'est la communication en général que j'ai scindée en deux parties, communication avec les usagers et communication entre les acteurs du projet. Donc la partie communication avec les usagers on a la visualisation partagée des solutions proposées donc ça on en a déjà parlé et l'intégration de la participation citoyenne. Quand je parle de participation citoyenne, j'imagine vraiment une implication des usagers. Donc vous avez parlé tout à l'heure qu'ils avaient justement cette demande de pouvoir faire partie du processus.

R3: Oui, on a même effectivement quelques opérations de constructions participatives même si c'est loin d'être la majorité. Oui je confirme sur cet aspect-là je pense que ça peut être un support qui serait apprécié même s'il n'est pas complètement intégré ou compris dans sa totalité mais je pense que c'est un peu effectivement faciliter la communication. On pourrait dire qu'on va refaire le hall d'entrée et ils peuvent ne pas comprendre pourquoi on refait le hall d'entrée, si on est capable de leur donner une vision 3D du futur hall d'entrée ils peuvent y trouver l'intérêt de dire qu'on améliore l'accessibilité, qu'on repositionne les boîtes aux lettres ou qu'on fasse l'accessibilité PMR,... donc ça peut être intéressant.

Doctorante : Vous venez de dire que vous aviez quelques projets de constructions participatives, est-ce que ce sont des projets où vous avez utilisé le BIM avec les occupants ?

R3: Non, l'exemple que j'ai en tête date d'il y a deux ou trois ans donc je ne pense pas qu'ils l'aient utilisé. On n'est pas submergé par les maîtres d'œuvre qui arrivent et qui disent "on est super bon en maquette numérique on va vous faire ça". Et les entreprises, à part les majors qui investissent dans ces technologies car ils y voient bien là aussi leur intérêt en termes de processus, de méthode de construction. Les plus petites entreprises sont moins bien outillées sur ces projets.

Doctorante : Et si vous deviez imaginer de justement utiliser le BIM dans un projet de participation citoyenne, est-ce que vous avez déjà une idée des freins ou des problématiques que ça pourrait soulever ?

R3: Ça peut s'en douter être plus long en termes de préparation d'opération mais en même temps ça peut être une façon assez économique de tester toutes les idées des uns et des autres, de simuler, de visualiser les propositions des uns et des autres. Ça peut-être je pense un support qui peut éviter les surprises. Après si on explique bien aux acteurs participatifs ce qu'ils vont voir, et qu'ils arrivent à visualiser correctement ce qu'on leur montre, une fois qu'on est assuré que chacun sait lire ou sait comprendre ce qu'on lui montre ça peut-être je pense un dispositif assez économe en coût mais qui en même temps peut éviter les surprises en disant "voilà je ne pensais pas que ce serait comme ça alors que c'est un tel qui a proposé ou l'autre qui a proposé ça peut être un bon support.

57:53 > 1:01:43 [Communication entre les acteurs du projet]

Doctorante : Notre dernier point c'est la communication entre les acteurs du projet. Là il y a la partie recensement des échanges qui sont liés au projet et la partie collaboration améliorée. Je ne sais pas si vous avez déjà un niveau de maturité dans les procédures BIM pour avoir atteint ce stade-là car c'est quand même un stade assez avancé.

R3: Alors non, ça restera une étape suivante je pense même si moi quand j'ai commencé à m'intéresser un peu plus sérieusement à ce qui se faisait déjà en maquette numérique j'étais assez étonné, moi dans mon esprit, la maquette numérique, l'intérêt c'est que ça soit un mode de communication, que ça soit un outil d'échange partagé, un espace collaboratif et semble-t-il dans la plupart des opérations encore ça reste des COT c'est-à-dire que le maître d'oeuvre fait sa maquette numérique, au mieux une entreprise fait sa maquette numérique et puis il y a quelqu'un au milieu qui essaye de faire matcher tout ça et qui essaye de les remettre dans une seule maquette numérique et je trouve ça un peu dommage. En tout cas c'était dans l'ambition, ça fait perdre de mon point de vue beaucoup de l'intérêt parce qu'on se retrouve, nous, avec des couches supplémentaires de BIM manager, tout ce qu'on peut imaginer pour dire qu'on rajoute un acteur qui va s'assurer tout ce qui est produit par ailleurs ça rentre dans un DAO numérique qui n'est pas complet parce que tel ou tel n'a pas contribué etc. donc c'est cet objectif-là qu'il faut viser si on veut retrouver tout l'intérêt en tout cas du point de vue du maître d'ouvrage et je pense des entreprises aussi.

Doctorante : D'accord, donc là on a passé en revue tous les critères que j'avais identifiés je ne sais pas si ça vous a inspiré quelque chose de supplémentaire, si vous voulez compléter avec quelque chose ou si vous pensez avoir dit ce que vous aviez à dire.

R3: De mon point de vue l'étape ultime qui est de dire voilà il y a bien une maquette numérique qui est construite de manière collaborative par tous les acteurs, ça, ça me semble être ce qu'il faut viser pour ce qui est de la phase conception. L'étape idéale suivante, ce qui devient un DAO numérique ça devient bien une maquette numérique de gestion c'est-à-dire l'ouvrage qu'on va ensuite gérer parce qu'on va se retrouver avec, pour nous ensuite propriétaire bailleur, avoir à gérer finalement deux ouvrages en parallèle, l'ouvrage physique et puis l'ouvrage numérique c'est-à-dire que tout ce qu'on fait sur le patrimoine il va falloir s'assurer que c'est répercuté sur la maquette numérique et tout ce qu'on a pu imaginer comme simulation sur la maquette numérique de s'assurer que le bâtiment il a bien le même niveau de performance et pour ça il faut qu'il y ait une continuité entre les deux c'est-à-dire que si on a une maquette numérique qui est trop différente finalement ou trop incomplète par rapport à tout ce qu'on peut imaginer gérer sur le patrimoine on ne s'en servira pas et vis versa c'est-à-dire que si on travaille sur le bâtiment sans mettre à jour la maquette numérique. Après peut-être que l'avenir ce seront toutes les données ou de l'intelligence artificielle qui permettra d'accélérer ou de fluidifier ces vies parallèles ça c'est l'avenir qui le dira.

1:01:43 > 1:02:40 [ Pas de thématique]

Doctorante : D'accord. Et bien un grand merci pour cet entretien, on a un tout petit peu dépassé l'heure que j'avais promise donc ça va on reste plus ou moins dans le timing.

R3: Avec plaisir, bonne fin de journée.

Doctorante : Merci à vous aussi, au revoir.



00:00 > 01:10 [Introduction]

Doctorante : Ok, donc l'entretien comme je vous l'avais dit il est prévu pour durer approximativement une heure mais en fonction de la manière dont vous allez être intéressée par les questions ou comment ça peut résonner en vous ça peut prendre un peu plus de temps. Donc je crois que je vous l'avais dit mais le maximum que j'avais eu c'était 1h45 mais c'était un entretien en présentiel, donc en général on parle plus en présentiel qu'en distanciel donc c'était sans doute pour ça que l'entretien avait duré plus longtemps mais sinon en général ça dure entre 1h et 1h30. Cependant s'il à un moment où vous devez mettre fin à l'entretien parce que vous n'avez plus le temps vous me le signaler et on s'adaptera.

R4: Ok.

Doctorante : Donc l'entretien il va se dérouler en trois parties. Il y a une première partie où on essaie de cerner rapidement votre profil, une deuxième partie où on essaie de vérifier si on a les mêmes définitions des concepts que je vais utiliser et la dernière partie qui est la plus importante pour moi qui va questionner vos habitudes et vos aspirations par rapport à la mise en place d'une forme de durabilité dans les pratiques BIM. Donc on va commencer par la première partie.

01:10 > 04:31 [Profil]

Doctorante : Donc ma première question c'est, qu'est-ce que vous avez suivi comme formation et combien d'années d'expérience avez-vous dans le milieu de la construction ?

R4: Donc moi j'ai un diplôme d'architecte et j'ai travaillé 4 ans dans des bureaux d'architecture.

Doctorante : Et vous avez suivi une formation particulière en lien avec le BIM ou vous avez appris sur le tas ?

R4: En fait j'avais suivi une formation Revit pendant mes études mais à côté, un truc que j'ai fait en parallèle, et donc je connaissais un peu Revit mais pas du tout ce qui était BIM ça se limitait à ce qui était modélisation 3D, ce n'était pas vraiment du BIM. A ce moment-là je croyais que c'était du BIM mais en fait non.

Doctorante : Et du coup après vous l'avez plus utilisé dans votre travail ?

R4: Maintenant que je travaille au Mon entreprise et que je sais vraiment ce que c'est le BIM, non, après on allait au-delà de la modélisation 3D, on exportait des quantités ou quoi mais ce n'était pas aussi poussé que ce que l'on peut réellement faire. Et bon ce n'est quand même pas énormément répandu tout ce qui est, (réfléchi) logiciel 3D et tout ça en général c'est plus de la modélisation 3D mais le BIM, à moins que ce soit vraiment dans des gros bureaux pour des gros projets en général ce n'est pas fort utilisé. Là on était quand même je dirais un bureau relativement avancé dans l'utilisation du BIM surtout que j'ai l'impression que c'est plus utilisé en Flandres que dans la partie francophone. Je ne vais pas dire qu'on était des précurseurs mais à cette époque-là c'était il y a six ans donc il n'y avait pas énormément de bureaux qui l'utilisaient.

Doctorante : Dans ce bureau-là vous faisiez quel genre de construction ? Ce n'était pas des maisons je suppose si vous étiez un plus gros bureau.

R4: On avait surtout soit de la rénovation d'immeubles à appartements ou alors des constructions neuves d'immeubles à appartements avec une partie commerces au rez-de-chaussée et ça allait je dirais de 5 appartements à 120 appartements, ça c'était vraiment un gros projet.

Doctorante : Ok, et à l'heure actuelle vous utilisez une forme de BIM, sachant qu'il y a quand même plusieurs niveaux de BIM donc il y a des choses où effectivement au début on pense que c'est du BIM, en fait ce n'en est pas, mais en fait ça en est quand même mais c'est juste un niveau faible de BIM, est-ce que c'est quelque chose que vous utilisez encore aujourd'hui ou pas trop ?

R4: Ici je travaille au Mon entreprise, dans la partie digitale donc je ne travaille pas en BIM comme dans un bureau d'archi, je n'utilise pas Revit tous les jours etc. mais nous on développe un guide sur quelles sont les informations qu'on doit trouver dans le modèle pour favoriser les échanges et rendre les échanges et le processus plus facile pour toutes les parties.

Doctorante : Donc ce n'est pas quelque chose que vous utilisez en tant qu'outil mais vous connaissez quand même assez bien le fonctionnement du concept du BIM.

R4: Oui. Je dirais que je suis plus en amont dans tout ce qui est, vraiment on va faire un guide et même des normes sur comment modéliser le modèle donc c'est vraiment en amont par rapport à l'utilisation du BIM dans le secteur.

04:31 > 06:42 [Définition des concepts] [Concept architecture durable]

Doctorante : Du coup on va passer à la deuxième partie, là on part plutôt sur la partie architecture durable. Donc j'avais un peu quand même regardé votre profil avant et j'avais l'impression que c'était quelque chose qui vous tenait quand même beaucoup à coeur.

R4: Oui.

Doctorante : Qu'est-ce que vous donneriez comme définition du concept de l'architecture durable sachant que c'est difficile de définir ça donc il n'y a pas vraiment de bonne ou de mauvaise réponse mais c'est juste pour avoir vos impressions sur le concept.

R4: Alors pour moi l'architecture durable c'est ... (réfléchis longuement) je dirais que c'est au-delà d'une architecture qui doit durer dans le temps mais c'est aussi une architecture qui doit respecter l'environnement, les occupants, la planète etc. Donc en fait je trouve que pour moi c'est au-delà d'utiliser des matériaux biosourcés ou quoi mais c'est aussi prendre en compte l'orientation de la maison, vraiment l'environnement qu'il y a autour de la maison et faire des espaces qui ressemblent aux occupants... Ne pas faire des espaces qui sont trop grands mais qui sont adaptés aux besoins des occupants.

Doctorante : Ok. Nous du coup pour définir l'architecture durable on s'est basés sur la définition du développement durable parce qu'elle permet justement une vision très large comme vous dites on ne s'arrête pas juste au côté matériau et énergie. Ca reste pour l'instant une définition qui est un peu vague mais c'est volontaire de notre part pour pouvoir englober un maximum de choses. Donc on la définit comme une architecture qui est socialement équitable, écologiquement soutenable et économiquement viable, du low tech au high tech, parce que même si on travaille sur le BIM on veut garder à l'esprit en fait qu'il n'y a pas que ça, on n'est pas obligé de faire du durable uniquement en calculant tout plein de trucs avec des logiciels donc nous on ne travaille pas sur la partie low tech mais on voulait l'inclure dans la définition. Et alors on voulait aussi comme vous l'avez dit mentionner la partie durabilité des projets dans le temps et d'acceptabilité sociale et environnementale.

06:42 > 08:48 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM]

Doctorante : Du coup selon vous, pour concevoir une construction durable comment on peut traiter ça avec le BIM ?

R4: Je pense que déjà le fait de modéliser le bâtiment une première fois dans un logiciel 3D ça permet déjà de limiter les erreurs sur chantier et donc au niveau strictement déchets par exemple sur le chantier, de ne pas devoir démolir des choses suite à des erreurs vu qu'on a déjà vérifié ça sur la maquette 3D... En fait pour moi j'ai quand même du mal à voir le lien entre durabilité et BIM, ce n'est pas évident pour moi en tout cas. Je dois un peu chercher... Après je dirais peut-être aussi quand on parle durabilité c'est peut-être économie aussi de moyen, de temps, d'argent au niveau de tout ce qui est la maintenance sur site après, où en fait on a récolté toutes les informations par exemple typiquement le nombre de portes et quels types de portes ou quels types clinches de portes, si on doit les remplacer ces informations sont collectées quelque part et ce n'est pas sur des plans dans des archives introuvables mais c'est mieux structuré et donc je pense que ça limite aussi les moyens à mettre en oeuvre par la suite dans le projet. Mais bon je pense aussi au-delà de ça, ça facilite l'analyse thermique, énergétique du bâtiment, il y a moyen de réutiliser plus facilement ces données-là pour l'analyse.

08:48 > 11:31 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale]

Doctorante : Ok. Après notre deuxième concept que je voulais aborder c'est celui de la durabilité sociale. Je voulais savoir si c'est un concept que vous connaissez et si oui comment vous le définiriez.

R4: Je ne connais pas le concept comme ça après ça m'évoque des trucs mais je ne connais pas le concept comme ça. Je ne sais pas si je dois dire ce que ça m'évoque ?

Doctorante : Oui vous pouvez, même si c'est par mots-clés comme ça j'ai une idée de ce qui vient quand je vous cite "durabilité sociale".

R4: (réfléchis) Ce n'est pas évident quand même... Non en fait je ne saurais pas expliquer.

Doctorante : En fait effectivement c'est assez compliqué d'expliquer la durabilité sociale d'autant plus quand on essaie de le voir avec l'oeil d'un architecte ou en tout cas dans le milieu de la construction. A ce stade, on a nous-mêmes pas encore réalisé une définition claire de la durabilité sociale, mais les mots-clés qu'on utilise c'est le bien-être de l'utilisateur, la participation, l'accessibilité, les relations humaines, l'équité, donc c'est ce genre d'idées qu'on utilise quand on aborde la durabilité sociale. Et en fait, le mail que je vous ai envoyé je l'ai volontairement intitulé BIM et pratique durable, ou quelque chose comme ça, en tout cas je n'ai pas dit durabilité sociale mais en fait c'est vraiment ça le coeur de ma recherche, c'est comment le BIM peut servir la durabilité sociale, parce que actuellement la durabilité c'est social, économique et écologique, l'économique on voit assez rapidement comment le BIM peut aider à traiter le sujet, écologique aussi parce qu'il y a moyen de faire des simulations, vous en avez parlé aussi, pour analyser aussi les performances du bâtiment et tout ce genre de chose. Mais par contre le côté social c'est quand même beaucoup plus compliqué parce qu'on a d'un côté le BIM qui fonctionne très bien avec des données quantifiables et mesurables et de l'autre côté, le côté social qui est beaucoup plus subjectif et beaucoup plus abstrait donc qui n'est pas forcément la première direction qu'on emprunte quand on se dit "Je vais faire du BIM durable", ce n'est pas intuitif d'aller vers la durabilité sociale. Donc là l'objectif pour nous c'est d'essayer de lister le type d'usage qu'on peut trouver pour le BIM au service de la durabilité sociale.

11:31 > 14:47 [ Pas de thématique]

Doctorante : Donc là vous pouvez ouvrir le document que je vous ai envoyé. On a réalisé un tableau dans lequel on a repris 5 critères de durabilité sociale. Donc les 5 critères qu'on a employés ce sont des critères

qu'on a retirés de la littérature. Donc à la lecture d'articles sur le sujet, ce sont des sujets qui ont déjà été traités mais d'un point de vue théorique, donc il y a toujours une grosse marge entre la théorie et la pratique mais en tout cas d'un point de vue théorique ce sont des sujets qui ont déjà été exploités avec le BIM. Donc il y a la sécurité, le confort des usagers, le processus d'apprentissage pour les étudiants et les professionnels de la construction, le patrimoine culturel et la communication que ce soit avec les usagers et les acteurs du projet. Donc c'est la première colonne du tableau, ce sont les critères qu'on a relevés jusqu'à présent. Dans la deuxième colonne on a des exemples de possibilités d'interaction qui peuvent se créer avec le BIM. Donc ce qu'on va faire c'est qu'on va les passer en revue, on va les lire ensemble et je vais vous demander de chaque fois réagir en fonction du passé, présent, futur, donc est-ce que vous avez déjà utilisé ça ou entendu parler de l'emploi du BIM pour ça ? Est-ce qu'à l'heure actuelle c'est quelque chose que vous faites ? Evidemment du coup là vous n'êtes plus dans la construction mais est-ce que dans un passé récent, donc votre expérience il y a 6 ans c'est ça que vous m'avez dit dans un bureau d'archi ?

R4: Là ça fait 1 an et demi que je suis au Mon entreprise mais j'ai construit ma maison l'année passée donc je dirais que c'est un passé récent.

Doctorante : Oui, en tout cas même dans votre pratique au Mon entreprise ça peut être des choses que vous avez peut-être travaillées, même si ce n'est pas de manière pratique mais plus théorique ça m'intéresse aussi. Après il y a la partie futur donc là ça s'applique peut-être moins à vous mais on va quand même voir si ça vous évoque des choses mais est-ce que vous pensez que ça peut avoir un impact, que ça peut se développer plus dans le futur. Et après il y a la quatrième partie c'est dans l'idéal, s'il n'y avait aucune barrière économique, politique, administrative, contrainte technologique, qu'est-ce que le BIM pourrait apporter de plus utile à la durabilité sociale des projets. Donc là en fait en lisant la deuxième colonne ça va peut-être évoquer des choses auxquelles je n'ai pas pensé et que vous avez peut-être rencontrées ou même si vous n'avez pas rencontré que vous vous étiez déjà dit "Ah ce serait terrible si on pouvait faire ça avec le BIM" vous pouvez faire ressortir ces éléments-là à ce moment-là. Ce que je vais faire c'est que je vais lire tous les points concernant la sécurité et ensuite je prendrais votre réaction par rapport à ce concept, est-ce que vous l'avez déjà utilisé, est-ce que vous l'utilisez encore, est-ce que vous pensez l'utiliser dans le futur et idéalement est-ce qu'on pourrait rajouter quelque chose et ça peut aussi être un critère que je n'ai pas cité donc qui n'est pas de la sécurité ou du confort mais ça peut être un nouveau critère si ça vous vient à l'esprit. Vous vous rendez compte du coup qu'en fait on fait parfois de la durabilité sociale avec le BIM mais c'est juste qu'on ne l'identifie pas telle quelle, en général c'est quelque chose qui est dépendant d'autre chose par exemple pour la sécurité évidemment on souhaite que personne ne soit blessé sur chantier mais il y a parfois aussi le facteur économique de ne pas abîmer le matériel ou des choses comme ça donc ce n'est pas volontairement de la durabilité sociale mais on en fait quand même.

14:47 > 16:22 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale]

R4: C'est marrant parce que pour moi, durabilité sociale c'est plus en lien vraiment avec le bien-être, l'ensoleillement, la vue sur le jardin, des trucs beaucoup plus abstraits que la sécurité stricto sensu. Pour moi, social c'est vraiment plus la relation que les occupants ont avec... Je ne sais pas comment expliquer. Je n'aurais pas pensé que la sécurité pouvait faire partie de la durabilité sociale.

Doctorante : En fait quand je dis sécurité, je ne parle pas de sécurité numérique mais vraiment de sécurité sur chantier et du fait que ça met des personnes en danger, ça à quand même un côté social parce que si on a un très gros projet avec plein d'ouvriers et qu'on ne s'intéresse pas du tout aux normes de sécurité, il y a peut-être plein de personnes qui vont être blessées et donc ça a un impact sur l'humain. Donc, social, pour moi c'est vraiment humain, au sens large, c'est pour ça qu'on a utilisé le critère de sécurité.

R4: De mon point de vue architecte je ne pense pas du tout à la partie chantier mais je pense plus à tout ce qui est... à partir du moment où la maison est construite par rapport aux occupants mais du coup c'est intéressant.

Doctorante : C'est justement pour ça que j'interview plusieurs profils parce qu'à chaque fois que je rencontre quelqu'un il a toujours un point plus axé sur la conception, le chantier ou autre chose, c'est assez intéressant et en croisant tout ça j'espère pouvoir avoir une liste conséquente d'usages du BIM pour la durabilité sociale.

16:22 > 26:58 [Sécurité]

Doctorante : Si c'est bon pour vous je vais commencer à le lire, donc c'est vraiment cette partie-là qui va prendre la majeure partie du temps de notre entretien. C'est bon pour vous ?

R4: Oui

Doctorante : Le premier critère c'est celui de la sécurité. Dans ce critère-là on a plusieurs choses, par exemple, l'utilisation des données de précédents chantiers pour pouvoir identifier les accidents fréquents et les éviter, il y a la vérification des règles de sécurité qu'on peut faire de manière simulée que ce soit à l'étape conception justement ou sur chantier avec les ouvriers pour qu'ils puissent visualiser en quoi c'est important, l'estimation des coûts des équipements de sécurité, la localisation sur le chantier en temps réel des ouvriers et des équipements, du coup, l'utilisation de capteurs dans le casque des ouvriers qui forcément dépendent du critère précédent, la visualisation des espaces de sécurité requis pour manipuler les équipements, l'identification des conflits horaires entre équipes ou équipements lourds. Donc l'idée c'est d'éviter qu'une équipe non qualifiée ne se retrouve avec une machine dangereuse sur le chantier, qui se retrouve au même endroit si l'équipe n'est pas qualifiée pour cette machine, la gestion des interventions en cas d'incendie donc à nouveau ça permet de faire des simulations sur les chemins d'évacuation à emprunter par exemple et l'entraînement et la formation des usagers à la sécurité. Donc les premiers critères sont fort axés sur la partie chantier et les deux derniers touchent plus à la partie exploitation du bâtiment puisque là ça concerne un peu plus les usagers donc on pourrait imaginer de former les usagers sur le chemin qu'ils doivent emprunter pour trouver la sortie de secours la plus proche avec un support visuel et pas uniquement réfléchir sur plans ou dans son souvenir du bâtiment. Est-ce que ce sont des choses que vous avez déjà expérimentées ou dont vous avez déjà entendu parler ou qui vous semble possible ou impossible pour telle ou telle raison.

R4: Honnêtement dans ma pratique on n'allait pas aussi loin que ça et je pense que c'est aussi possible, actuellement dans des gros projets où ils ont une ou deux personnes à temps plein sur la gestion de ce genre de truc mais clairement moi les chantiers sur lesquels j'étais ou les projets sur lesquels j'étais c'était des trucs relativement petits, peut-être 1million d'euros mais je veux dire c'est quand même des petits projets comparés à des trucs à 20 millions d'euros. Du coup je n'y ai pas vraiment été confrontée, par contre il y a un des trucs qui m'a un peu fait tiquer c'est, utilisation de capteurs sur le casque des ouvriers. En fait j'aurais trop peur que d'un point de vue social, les patrons des entreprises puissent utiliser ces infos pour dire "Lui il a trop glandé aujourd'hui", du coup d'un point de vue social c'est peut-être un des points qui me dérangerait. Par contre clairement je trouve que... "localisation sur le chantier en temps réel des ouvriers et des équipements", "visualisation des espaces de sécurité", "identification des conflits horaires" c'est vraiment quelque chose qui est hyper intéressant je trouve mais... En fait j'ai l'impression que c'est aux prémices de tout ça parce que ce n'est pas du tout implanté dans la mentalité chantier, en tout cas en Belgique. Après je ne sais pas en Flandres comment ça fonctionne mais en tout cas en Wallonie ils sont un peu à la ramasse. Mais clairement je pense que tout ce qui a été cité là c'est des choses qui seraient bien à mettre en place mais je pense de nouveau qu'il faut voir au niveau du budget du chantier. Parce qu'en fait il y a des chantiers où il n'y a même pas de conducteur de chantier, il y a juste l'entrepreneur qui bosse sur le chantier et limite

il ne sait pas ce que c'est le BIM. Donc je pense que même si le BIM se développe il y aura toujours une partie des chantiers qui se fera sans BIM parce que ce n'est pas rentable, ce n'est pas leur métier.

Doctorante : Ce n'est pas rentable pour l'entrepreneur c'est ça ?

R4: Oui. Quand je vois par exemple, mon mari est entrepreneur de toiture, lui c'est vraiment une petite entreprise, il est seul. Mais même une entreprise de 10 personnes le patron ne va pas commencer à apprendre le BIM ce n'est pas son job donc je pense que ça a des avantages pour des gros projets qui ont des enjeux par exemple au niveau "estimation du coût des équipements de sécurité" où là ça peut vraiment avoir un impact mais sur des petits projets je pense que ça ne va pas être rentable.

Doctorante : Du coup vous pensez que de manière globale le BIM ne pourra pas s'implanter de manière durable à tous les échelons de la construction c'est ça ?

R4: Je n'ai pas l'impression ou en tout cas pas comme c'est actuellement. Il va vraiment falloir soit simplifier les process, soit le faire apprendre dans les écoles, par exemple à l'IFAPME ou ce genre de truc. Quand je vois sur chantier en général ils sont quand même plus manuels, ils ne sont pas à se mettre derrière leur pc, à exporter des données, ça les fait chier. Je n'ai pas l'impression, je pense qu'il y aura quand même une limite dans l'implantation du BIM dans le secteur de la construction. C'est comme par exemple si on doit commencer à modéliser une petite annexe et faire tout du BIM avec, ça va prendre trois fois plus de temps que de le faire limite en Autocad, à la fin ce n'est pas rentable donc... Ouais je pense qu'il y a des limites.

Doctorante : Donc là on a fait le passé, présent, futur, est-ce que d'un point de vue idéal vous pensez qu'il faudrait que les entrepreneurs soient plus formés ou que de toute façon ce n'est pas grave si on a deux vitesses dans la construction et que ce n'est pas forcément problématique.

R4: Vous savez reposer votre question parce qu'il y avait un truc au début qui m'intéressait mais j'ai...

Doctorante : Donc là on a fait le passé, présent, futur, et donc d'un point de vue idéal, est-ce que vous pensez qu'il faudrait que les entreprises soient mieux formées à tout ce qui est numérique ou on peut aussi se dire que non elles ne le seront pas et ce n'est pas forcément grave qu'il y ait deux vitesses dans la construction et deux manières de construire qui co-habitent en même temps, avec deux sensibilités au numérique qui seraient différentes.

R4: Je pense que dans l'idéal évidemment ce serait génial au moins pour la sécurité d'avoir des données qui sont utilisables sur le chantier pour limiter les accidents mais de nouveau je doute que ça arrive.

Doctorante : Après on pourrait peut-être se dire aussi que les plus petits chantiers profitent de l'expérience de gros chantiers et donc en fait que ces données elles soient issues uniquement des gros chantiers mais que du coup ça fasse partie du savoir-faire de se dire qu'il y a tel type d'accident qui est très fréquent qu'on n'a peut-être pas forcément relevé parce que c'est peut-être parfois des accidents insignifiants mais peut-être que l'on peut se dire qu'en fait ça crée une sorte de matière, de bibliothèque, de source de connaissance issue des gros chantiers mais qui seraient réexploitables par les petits chantiers sans forcément qu'ils doivent manipuler tout ça.

R4: Oui ça je pense que c'est probablement comme ça que ça va se passer mais tout comme je pense le numérique et tout ça où je pense que petit à petit comme ici c'est déjà implanté depuis je dirais 10-20 ans, petit à petit les nouveaux entrepreneurs ils ont ça limite dans leur cursus, c'est quelque chose qui va devenir plus normalisé mais je pense quand même que le BIM à proprement parler ne va pas s'implanter dans tous les chantiers. Peut-être le numérique comme typiquement par exemple des outils de photogrammétrie ou ce genre de truc mais bon il y a un moment ou quand c'est des petits chantiers ce n'est pas rentable. Je pense quand même qu'il y aura un truc à deux vitesses mais peut-être que dans cinquante ans ce sera un petit peu nivelé.

Doctorante : Après, c'est vrai qu'on dit souvent que la construction est un milieu qui évolue très lentement mais je trouve que c'est peut-être un peu biaisé de dire ça parce que c'est parce qu'on a l'habitude d'évoluer très vite, la société évolue très vite mais au final la construction a quand même énormément changé les 100 dernières années tout a changé en fait si on revenait là 100 ans en arrière c'est complètement différent donc au final je trouve qu'à l'échelle de l'histoire de l'humanité ça a quand même dernièrement beaucoup évolué mais c'est vrai qu'on dit souvent que le secteur de la construction est lent ou réticent aux changements mais bon je suppose que ça dépend du point de vue.

R4: Oui je pense aussi que c'est en comparaison avec le reste de l'évolution, mais je pense aussi que les gens qui ont appris des choses il y a trente ans forcément ils ne vont pas complètement tout remettre en question et donc je pense que c'est la nouvelle génération qui va petit à petit pousser les vieilles pratiques. Donc oui c'est lent mais c'est vrai qu'il y a quand même eu beaucoup de changements donc après il y en a qui sont contre le changement aussi et je peux comprendre vu qu'il y a pas mal de choses qui ont changé dernièrement. Forcément personne n'aime bousculer ses habitudes je peux comprendre mais à mon avis c'est les prochaines générations qui vont changer ça oui.

Doctorante : Ok.

26:59 > 34:11 [Confort des usagers]

Doctorante : On va passer du coup sur le deuxième critère qui est le confort des usagers. Donc là on change de phase, il y a vraiment que le premier critère qui est fort axé chantier mais après les autres sont plus souples. Donc dans le confort des usagers on est plutôt en phase d'exploitation, on a la partie collecte des données liées à l'occupation du bâtiment, simulation de l'éclairage naturelle donc ça c'est plutôt conception du coup mais qui sert après pour la phase d'exploitation, identification des causes d'inconfort liés à l'agencement des espaces, monitoring de la production d'électricité et de chauffage et estimation des coûts liés à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers et donc pourquoi estimation des coûts, parce qu'il y a le côté est-ce qu'on peut s'offrir la rénovation ou pas en fait c'est de ça que j'entends le côté social de ce critère-là c'est l'accessibilité financière du projet.

R4: Mais donc du coup, le dernier, quel est le lien avec le BIM ? Parce que ça on sait le faire sans forcément utiliser le BIM.

Doctorante : Effectivement on sait le faire sans utiliser le BIM après ça va peut-être plus vite ou il y a peut-être des choses que l'on peut récupérer de précédents projets avec le BIM mais effectivement c'est quelque chose pour lequel le BIM n'est pas indispensable c'est juste qu'on sait le faire avec le BIM mais on n'est pas forcément obligé de le faire uniquement avec le BIM.

R4: Je dirais que celui qui me parle le plus c'est collecte des données liées à l'occupation du bâtiment donc là on parle plus de tout ce qui est par exemple ventilation, CO2 et tout ça ?

Doctorante : Oui.

R4: Ca je dirais que c'est quelque chose qui est déjà fait, je réfléchis de nouveau par rapport au BIM. De nouveau j'ai un peu du mal à faire le lien avec le BIM puisqu'en général c'est après.

Doctorante : En fait dans cette idée-là pour moi le BIM c'est à la fois la maquette numérique, la collaboration et la collecte de données et donc dans ces critères-là parfois on n'exploite qu'une seule de ces parties mais comme vous le disiez tout-à-l'heure tout ça on est quand même vraiment au tout début donc il y a des choses qui parfois rentrent par une porte par exemple ici la porte collecte des données et il n'est pas impossible qu'en fait ça puisse s'inséminer dans les autres piliers du BIM mais c'est vrai que parfois je n'utilise qu'une seule des portes d'entrée pour essayer de balayer le plus d'utilisations possible. Donc l'idée ici ce serait de par exemple pouvoir collecter grâce à des capteurs des données dans le bâtiment qui puisse après être

implémenté dans une maquette numérique et qui pourrait peut-être permettre de faire des simulations par exemple de flux et du coup d'étudier une situation et de constater justement une cause d'inconfort ou quelque chose qui ne fonctionne pas dans le bâtiment grâce à cette collecte qui parfois sans la partie capteur ça pourrait être compliqué d'identifier les flux de CO2 par exemple dans une pièce ou dans un bâtiment.

R4: Du coup je pense que peut-être, sauf simulation de l'éclairage naturel, moi en tout cas je n'ai jamais été aussi loin mais je pense que clairement c'est quelque chose qui va être utilisé dans le futur. Et qui est facile en fait à mettre en oeuvre il faut juste que l'habitude vienne mais je pense qu'il n'y a pas vraiment de frein. Peut-être juste identification des causes d'inconforts liés à l'agencement des espaces, ça j'ai l'impression que c'est plus quelque chose qu'on sent et donc j'ai du mal à voir comment on saura le voir.

Doctorante : Ca pourrait être en récoltant le ressenti des usagers par exemple. Du coup transformer une information sensible en donnée, donc ça c'est des choses qui se font déjà parfois par exemple en marketing quand on essaie d'évaluer la pertinence de l'emploi d'un produit on va d'abord le tester sur des personnes pour voir si elles l'apprécient si elles l'utilisent etc. ici on pourrait utiliser ce même genre de technique pour vérifier comment se sentent les usagers dans le bâtiment pour pouvoir essayer d'identifier pourquoi ils se sentent mal tel endroit ou tel autre.

R4: Je pense que ça pourrait être bien mais moi ça me met un peu mal à l'aise, j'ai l'impression que c'est fort, je ne vais pas dire artificiel, mais si on est un bon architecte on sait bien agencer les espaces normalement du coup c'est un peu too much je dirais. Même si je pense que dans la théorie c'est hyper cool mais je pense que dans la pratique si on doit commencer à coder un logiciel pour qu'on nous dise que tel truc ça va provoquer de l'inconfort je me dis que c'est très numérisé ça devient très artificiel quoi.

Doctorante : Effectivement il y a une sorte de paradoxe dans cette recherche parce qu'un bon architecte doit déjà tenir compte de tout ça donc parfois il y a ce truc de se dire est-ce que le BIM peut être un plus ou est-ce que de toute façon l'architecte est déjà capable de prendre ça en compte. Il faut savoir aussi pour recontextualiser un peu je ne suis pas forcément pro BIM en fait je prends juste ça de manière neutre, je vois que le BIM prend de plus en plus d'ampleur et qu'on n'intègre pas forcément l'humain et sa place dans tout ça donc j'essaie juste de manière neutre d'essayer de voir comment on peut lier les deux mais effectivement parfois il y a des choses qui remontent et qui ne sont pas forcément cohérentes ou qui se contre-disent un petit peu.

R4: En fait moi c'est au-delà de ça où je me dis si on commence à avoir tout plein d'outils pour dire que telle pièce elle devrait être un peu moins rectangulaire au final on va être tellement assistés que j'ai peur que la sensibilité de l'architecte soit affectée en fait. Parce qu'on va directement lui dire que la pièce elle doit avoir un ratio de tel par tel et au final on va perdre tout ce qui est, je ne vais pas dire créativité parce que je ne suis pas du tout fan de ça mais on va être trop assistés, on va finir comme des robots je dirais. Mais je pense que clairement tout ce qui est collecte de données, simulation de l'éclairage naturel et tout ça, ça c'est clairement des outils mais au niveau de la conception ça je serais un peu prudente avec ça quand même.

34:24 > 43:08 [Processus d'apprentissage]

Doctorante : Le point suivant c'est les processus d'apprentissage, à la fois pour les étudiants donc dans les écoles d'archi et pour les professionnels de la construction puisque comme on l'a dit le secteur change assez vite et donc les professionnels sont obligés de se reformer. Donc là ce qu'on avait recensé c'était la visualisation des espaces, l'amélioration de la compréhension de l'aménagement des espaces, donc c'est lié à la visualisation des espaces en fait ça c'est vraiment pour le côté étudiant, pour qu'ils puissent mieux se projeter parce que parfois dans les premières années les personnes ont du mal à voir en 3D ce qu'on exprime en 2D via le plan donc peut-être que la maquette numérique pourrait aider à mieux comprendre les impacts de leurs choix d'aménagement. Alors il y a aussi les apprentissages des principes de construction durable par simulation, donc pour pouvoir tester, "On met autant de fenêtres sur telle façade voilà l'impact sur la



performance du bâtiment", "Si on en enlève deux voilà ce qui se passe" etc. Donc c'est le côté pouvoir simuler faire des tests sans devoir aller jusqu'à construire le bâtiment mais pouvoir rester dans une sorte de zone théorique qui permet de faire des tests sans un gros investissement derrière puisqu'une fois qu'on manipule le logiciel on peut tester un peu tout ce qu'on veut. Et alors un point qu'on a relevé aussi mais on l'a relevé plus récemment donc il n'est pas dans la liste c'était aussi l'apprentissage des techniques de construction pas forcément durable mais juste les principes de structure du bâtiment pour pouvoir faire des tests à nouveau sans forcément prendre le risque qu'une structure à l'échelle 1/1 dans la réalité pourrait s'effondrer il y aurait tout aussi un problème de logistique pour pouvoir mettre en oeuvre ce genre de workshop qui n'est pas toujours évident à mettre en place. Donc ici on pourrait imaginer de le faire de manière virtuelle et ce qui permet aussi aux étudiants de ramener leur test chez eux et ne pas devoir être uniquement dans un contexte de laboratoire dans l'école d'archi pour pouvoir travailler mais pouvoir aussi expérimenter un peu comme ils veulent chez eux.

R4: Je suis vraiment très favorable à tout ce qui est apprentissage je pense que ça va vraiment avoir sa place dans quelques années que ce soit plus pour la partie étudiant en architecture qui pourrait utiliser par exemple la réalité virtuelle avec des lunettes pour pouvoir vraiment se retrouver dans l'espace parce que c'est vrai qu'au début c'est difficile de s'imaginer vraiment l'espace, comment ça va donner, comment on va bouger dans l'espace etc. donc ça je trouve ça chouette. Alors au niveau plus des métiers d'apprentissage de chantier je trouve ça chouette aussi, et d'ailleurs on a fait des tests ici en interne où en fait on pourrait avoir un casque de réalité virtuelle sur la tête et de faire un espèce de puzzle donc par exemple on a toutes les lattes en bois par terre et alors on doit faire son chantier virtuellement et donc on sait qu'on doit poser tel truc après tel objet etc. et pour ça je pense que c'est vraiment bien et apparemment ils sont très favorables à ça dans les centres d'apprentissage. Pour ça je pense que ça peut vraiment avoir un impact très positif .

Doctorante : Ce projet-là c'est à destination des entrepreneurs du coup ?

R4: Oui je dirais, enfin, c'est vraiment aux prémices mais c'est voir un peu ce qui est possible de faire, on ne fait pas tout ce qui est formation mais plus de la recherche sur tout ce qui est possible de faire. Ça a déjà eu de très bons retours mais oui c'est plus tout ce qui est IFAPME, ce genre d'apprentissage-là. Par contre de nouveau il ne faut pas aller trop loin et je pense que rien ne vaut la maquette réelle avec les tuiles les blocs mais je pense que ça peut déjà montrer, c'est plus rapide et ça permet d'économiser aussi des ressources donc oui je trouve que c'est cool.

Doctorante : Après on peut aussi partir dans l'idée que c'est un outil supplémentaire pour apprendre mais ce n'est pas forcément un outil qui remplace tout ce qui existe déjà.

R4: Oui. Mais de nouveau c'est un peu comme l'histoire de l'agencement des espaces et tout ça il ne faut pas que ça aille trop loin.

Doctorante : Et vous quand vous avez fait vos études est-ce que le numérique a pris une place à un moment même si c'était une faible place dans l'apprentissage ?

R4: Je dirais que la première année on faisait tout à la main, juste pour voir comment c'était à la main et après on est passés sur Autocad mais Autocad c'est déjà un peu dépassé et tout ce qui était BIM je crois qu'on a eu 20h de Revit mais on n'a pas été..., c'était vraiment plus tout ce qui était numérique Autocad mais bon ce n'est quand même pas super... Ça aurait été bien que ce soit plus sur Revit ou au moins avec des trucs actuels. Donc je dirai un peu numérique si on pense Autocad mais...

Doctorante : Et quand vous étiez en train d'apprendre avec Autocad vous aviez déjà conscience que c'était dépassé ou pas ?

R4: Moi je connaissais Autocad d'avant puisque j'avais déjà fait des trucs avant sur Autocad mais oui comme j'ai fait ma formation en deuxième j'ai vite compris qu'il y avait quelque chose de mieux mais ça je pense que

c'est quand même un gros manquement en tout cas dans les écoles d'archi après je ne sais pas maintenant comment ça se passe mais moi j'ai eu des cours d'Autocad. Il faut arrêter d'apprendre Autocad aux élèves, il faut passer sur des trucs... il faudrait au moins apprendre les dernières nouveautés quoi parce que sinon ce n'est pas comme ça qu'on va améliorer et qu'on va avancer dans le numérique.

Doctorante : Effectivement tout à l'heure vous disiez que du coup si c'est les nouvelles générations qui doivent tirer le train vers l'avant s'ils ne sont pas formés effectivement ils ne savent pas trop le faire.

Ok. Donc ça c'est plutôt d'un point de vue idéal en fait il faudrait que les étudiants soient mieux formés. Je ne sais pas si vous, vous aviez constaté ou peut-être encore maintenant dans les nouveaux collègues qui arrivent justement un manque de formation de la part des plus jeunes qui arrivent sur le milieu du travail.

R4: Je ne vais pas dire ici au Mon entreprise parce que c'est vraiment différent mais je dirais que clairement dans les bureaux d'archi c'est quand même rare que les gens connaissent Revit ou Archicad. Après je ne sais pas pour les gens qui sortent maintenant mais en tout cas quand j'étais encore il y a deux ans... en général c'est quand même plus Autocad ou alors c'est des gens qui étaient curieux qui ont appris le truc ou qui comme moi ont fait une formation sur le côté mais sinon oui ils sont restés sur Autocad. Moi ça fait déjà 10 ans que j'ai fait ma formation et déjà à ce moment-là Revit commençait à être connu donc je me dis on a déjà perdu 10 ans ils auraient dû apprendre Revit à ce moment-là. Mais bon dans un autre côté ce qui est difficile c'est que, sauf dans les gros bureaux d'archi, dans les bureaux moyens ou petits ils ne sont pas sur Revit donc... Il faut un entre deux, il faut quand même avoir des connaissances sur Autocad pour pouvoir trouver du boulot n'importe où mais c'est vrai que tout ce qui est formation je dirais plus BIM, même moi je n'ai pas eu de formation sur ce qu'était le BIM j'ai juste eu une formation sur la modélisation 3D Revit et c'était juste modéliser en 3D on n'était pas du tout dans tout ce qui était BIM.

Doctorante : Et à quel moment vous vous êtes rendu compte que le BIM c'était plus que ça ? C'est pendant que vous travailliez en bureau ou est-ce que c'est plutôt après au Mon entreprise ou vous vous être rendu compte qu'en fait le BIM ce n'était pas juste faire une maquette.

R4: Oui c'est plus au Mon entreprise. Je dirais, je savais que le BIM c'était par exemple l'export de données, de quantité etc. mais en fait ici je me rends compte vraiment de ce que c'est le BIM, c'est beaucoup plus complexe que ça.

43:08 > 46:49 [Patrimoine culturel]

Doctorante : Donc le point suivant c'est le patrimoine culturel donc là il est parfois un peu difficile à appréhender par les gens que j'interroge parce qu'en fonction de si vous avez déjà travaillé sur des bâtiments à valeur culturelle particulière ou pas du coup ça peut être difficile de se projeter mais on va quand même le passer peut-être que ça vous évoquera des choses. Donc dans cette idée-là on a modélisé les bâtiments à différentes époques pour pouvoir avoir des bibliothèques numériques de bâtiments historiques, donc là ça rejoint un peu le point précédent pour pouvoir apprendre du passé en ayant des 3D de bâtiments anciens. Après il y a le côté plus maintenance et surveillance du bâtiment donc plus en phase d'exploitation, donc forcément ce sont des bâtiments anciens qui sont déjà construits, donc pouvoir utiliser le numérique pour pouvoir surveiller ces bâtiments pour pouvoir aussi peut-être détecter des choses dans le système, par exemple le chauffage qui ne fonctionnerait pas, pour pouvoir éviter des fuites parce que ça peut être beaucoup plus dramatiques pour le bâtiment d'avoir une infiltration d'eau quand dans un bâtiment plus récent même si c'est toujours un problème évidemment mais dans un bâtiment ancien où il y a beaucoup de règles pour pouvoir agir dessus ça peut vraiment être dramatique, donc maintenance et entretien des bâtiments. Et après réduction du coût de maintenance donc là on rejoint la partie économique. Donc en fait ces points-là quand on dit surveillance des bâtiments on se dit "Quel est le lien avec la durabilité sociale ?" mais c'est vraiment plutôt pour se dire on a un patrimoine culturel à conserver pour que tout le monde puisse

en profiter et puisse améliorer son éducation culturelle et donc pour protéger ces bâtiments alors on a ces choses-là, surveillance, maintenance, etc.

R4: Alors moi dans ma pratique je ne l'ai jamais utilisé parce que je n'ai jamais travaillé sur des bâtiments historiques ou ce genre de choses. Par contre je trouve ça vraiment pertinent, je trouve que tous les points sont intéressants notamment la modélisation des bâtiments à différentes époques que ce soit pour l'apprentissage ou pour mettre dans des musées, montrer comment c'était avant, quelles sont les différentes étapes et aussi la surveillance des bâtiments, mettre des capteurs pour voir si ça bouge etc. ou même au niveau humidité dans les charpentes je trouve que tout est vraiment bien et je pense que c'est déjà utilisé enfin j'imagine dans les gros, je ne vais pas dire Notre-Dame de Paris mais dans les gros bâtiments.

Doctorante : En réalité justement à Notre-Dame de Paris ils sont en train de reconstruire pratiquement à l'identique parce que justement il y avait eu une modélisation 3D de la charpente. Grâce à cette modélisation on peut savoir exactement comment c'était, donc en fait oui un exemple pertinent. Est-ce que vous imaginez d'autres applications du numérique et du BIM plus particulièrement qui pourrait servir le patrimoine culturel ?

R4: Je dirais peut-être, mais je ne sais pas si ça reprend peut-être le premier point, mais si on scan en 3D un endroit qui n'est pas accessible au public par exemple, de pouvoir le montrer dans des musées avec un casque 3D et qu'on puisse s'immerger dans la pièce qui n'est pas accessible ou à Versailles dans des pièces cachées.

Doctorante : C'est vrai que c'est une bonne idée ça.

46:49 > 56:02 [Communication avec les usagers]

Doctorante : Ok donc le dernier point c'est communication, donc je l'ai scindé parce que pour moi ce n'est pas vraiment la même chose mais bon après on va les traiter en même temps on verra si vous ressentez le besoin de les scinder aussi ou pas. Donc il y a tout le volet communication avec les usagers. Donc là il y a la visualisation partagée des solutions proposées donc l'idée c'est de pouvoir communiquer en phase conception l'avancement du projet avec les usagers pour qu'ils puissent être bien conscients de ce qu'il va se passer, parce que ce n'est pas toujours le cas et particulièrement dans le cas de logements sociaux par exemple où il y a déjà des gens qui vivent dans le logement et qu'on veut faire une rénovation énergétique, parfois dans certains ensembles de logements qui sont justement classés ou sur l'inventaire du patrimoine on ne peut pas forcément agir sur l'extérieur et donc on va par exemple, isoler par l'intérieur, les personnes vont perdre en place dans leur logement et parfois sur plan pour eux ce n'est pas évident même s'ils voient bien qu'il y a une couche d'isolant à l'intérieur ils ne se rendent pas forcément compte d'à quel point ils vont perdre de l'espace. Donc parfois une fois que c'est fait ils sont très mécontents et en même temps de toute façon c'est trop tard ils ne peuvent rien faire ils sont obligés de subir ce changement et donc peut-être qu'avec le fait de pouvoir visualiser ce genre de choses ça pourrait peut-être parler à plus de personnes.

R4: Après ici je dirais peut-être que dans cet exemple-là, j'ai envie de dire qu'ils n'ont pas le choix, ils sont mécontents mais bon en même temps c'est isolé et je pense que peut-être plus les clients par exemple par rapport aux architectes ils ont du mal à se représenter les espaces, que ce soit la largeur ou la hauteur du plafond, la profondeur de la pièce, ce genre de trucs où même avec un casque de réalité virtuelle si on met des meubles ils vont plus facilement appréhender les choses et si on a un bon logiciel de rendu tout ce qui est carrelage, couleur de peinture sur les murs... Même si voilà ça dépend aussi de l'éclairage mais juste voir si on veut un carrelage clair ou foncé ça aide déjà fort les gens qui ne sont pas du tout sensibles à ça. Ou même voir où on veut la baignoire par rapport à la douche ce genre de truc. Je trouve ça bien. Je trouve ça bien mais en même temps c'est quand même beaucoup de travail pour celui qui conçoit donc je dirais que si c'est un architecte isolé qui doit faire le truc c'est quand même beaucoup d'investissement en temps et en argent pour le résultat. Après si c'est Thomas et Piron c'est peanuts pour eux dans leur investissement et

d'ailleurs ils le font déjà. Mais si on ne regarde pas du tout par rapport au coût je trouve ça vraiment intéressant pour les gens qui n'ont pas cette sensibilité spatiale.

Doctorante : Je reviens sur ce que vous avez dit au début, sur le fait qu'ils n'avaient pas le choix, en fait effectivement au final ils devront faire avec mais justement d'un point de vue humain c'est sans doute plus agréable pour eux d'avoir été pris en compte, d'avoir été prévenus, plutôt qu'on leur impose simplement à la fin le fait que ça se passe comme ça et pas autrement. Et vous parliez des meubles aussi en fait c'est quelque chose qui tient vraiment à coeur, parce que donc là je me base sur une recherche qui a été faite sur un ensemble de logements dans le nord de la France dans des anciens logements ouvriers donc justement les façades étaient protégées et donc on a isolé par l'intérieur et la préoccupation majeure des gens c'était de savoir s'ils allaient pouvoir encore mettre leurs meubles dans le logement parce qu'on a du coup isolé donc ils ont perdu de la place à l'intérieur et en plus ils ont rajouté des radiateurs à certain endroit donc en fait la disposition qu'ils avaient prévue et dans laquelle ils vivaient depuis plusieurs années n'était parfois plus possible et c'était ça qui les inquiétait le plus dans le projet.

R4: En fait ça je trouve ça génial mais honnêtement je n'ai pas l'impression que le volet social soit vraiment pris en compte dans les projets de construction. En général, c'est bon on met une couche d'isolant rien à foutre des occupants, alors que je pense que c'est clairement quelque chose qui serait vraiment bien, qu'on les prenne par la main "oui bonjour madame, tiens votre vitrine ben voilà..." Parce que voilà en général quand c'est dans un projet de construction c'est un peu plus grossier, on ne fait pas forcément attention au bien-être des gens, on ne prend pas vraiment des pincettes et voilà c'est isolé c'est mieux mais tout ce qui est le volet social et humain est en général pas pris en compte donc là clairement c'est quelque chose qui pourrait être bien pour moins perturber les occupants.

Doctorante : Et est-ce que vous pensez que c'est envisageable de les faire participer au processus ? Donc de pouvoir les questionner, leur demander leur avis et tenir compte de leur avis, parce que c'est parfois ça qui blesse en fait on questionne les gens mais après on fait quand même ce qui était prévu, est-ce que vous pensez que c'est quelque chose d'envisageable ou c'est vraiment uniquement utopique ?

R4: Je trouverais ça génial mais je pense vraiment que c'est utopique. J'ai eu un projet aussi de rénovation d'une façade d'un logement social et je crois qu'il y avait 60 appartements, si on doit commencer à aller voir tous les gens et leur dire "Voilà vous allez perdre 12 cm est-ce que c'est ok ?" Parce qu'on ne peut pas non plus choisir l'épaisseur, c'est en fonction des normes qu'on veut atteindre donc clairement je trouverais ça bien d'aller sonner chez tous les gens mais tout le monde n'est pas là donc il faut revenir, c'est inenvisageable je pense.

Doctorante : Donc c'est un peu le facteur humain qui rend ça compliqué ?

R4: Oui et le fait qu'au final si on veut atteindre des performances il n'y a pas vraiment le choix donc "Désolé madame pour votre vitrine mais si vous voulez avoir plus de confort, il n'y a pas 36 solutions parce qu'il n'y a pas 36 isolants différents". Et puis voilà on n'a pas le temps non plus, je veux dire souvent les architectes ils sont quand même très mal payés pour leur boulot, s'ils doivent encore passer des jours et des jours à aller sonner chez les habitants ce n'est pas rentable.

Doctorante : Après on pourrait se dire que via le numérique on pourrait communiquer de manière plus massive mais ce que j'ai pu relever dans d'autres interviews ou par mes recherches c'est qu'il faut aussi être formé pour pouvoir utiliser le numérique et les personnes qui sont dans des logements sociaux ne sont pas forcément des personnes qui ont un niveau d'éducation au numérique très élevé et donc c'est aussi lié avec la capacité à manipuler le numérique et à se débrouiller avec ça et donc on pourrait utiliser ça de manière massive en disant voilà on envoie par mail la 3D avec un viewer il pourrait regarder tout seul et se débrouiller mais en fait parfois ils n'ont déjà même pas d'adresse mail en fait donc ce n'est pas toujours évident à faire.

R4: Et puis en même temps, pour avoir déjà été confrontée à ça, même si nous, on fait toujours de notre mieux pour que ça soit le plus esthétique, le plus fin, le plus machin, il y aura toujours des râleurs parce que ça va changer, parce qu'il y aura des travaux, parce que machin. Au final j'ai peur que ce ne soit pas vraiment objectif parce qu'il y a la moitié qui va râler parce que... Mais par contre un des points qui n'a pas vraiment avoir mais j'y pense comme ça, je pense que tout ce qui est social n'est pas du tout pris en compte dans la formation d'architecte, il y a vraiment le volet humain qui est moins pris en compte et c'est aussi pour ça que ça m'a fait tiquer au début quand j'ai dû donner la définition de durabilité, pour moi tout ce qui est respect de l'occupant, respect de ses besoins et tout ça pour moi c'est un aspect qui n'est pas mis en œuvre. En général on aime bien les grandes baies vitrées, les grands espaces mais en fait la baie vitrée dès qu'il fait 20 degrés dehors il va faire 35 à l'intérieur donc tous ces trucs-là c'est peut-être un aspect qu'il manque dans la formation et donc peut-être que justement l'utilisation de tout ça dans le numérique peut apporter un petit peu le côté humain.

Doctorante : C'est vrai que pendant les études on est habitué à ne pas vraiment faire de distinction entre l'usager et la personne qui finance le projet, parce qu'à petite échelle c'est ce qui se passe, la personne qui vient voir un architecte pour rénover sa maison c'est lui aussi qui sera usager mais c'est vrai que ce n'est pas du tout les seuls projets qui existent, c'est vrai qu'on n'aborde pas trop ça dans la formation et c'est peut-être pour ça qu'on ne tient pas trop compte de cet aspect social parce qu'on ne fait pas la distinction entre les deux pendant les études.

56:02 > 1:00:07 [Communication entre les acteurs du projet]

Doctorante : Le point suivant donc le dernier point c'est la communication entre les acteurs du projet. Il y a la partie collaboration améliorée et la partie recensement des échanges liés au projet. Du coup comme vous avez un peu utilisé le BIM mais que vous m'avez dit que ce n'était pas du vrai BIM selon vous, je suppose que c'est cet aspect-là, collaboratif qui manquait parce que c'est souvent ce qu'il ressort quand on dit qu'on ne faisait pas vraiment du BIM parce qu'on n'utilisait pas en fait toute cette partie-là, collaborative, donc je ne sais pas si c'est le cas aussi pour vous ?

R4: Moi je n'ai jamais fait de collaboration BIM par contre dans le bureau dans lequel j'étais on en a fait pour certains gros projet. Après ça dépend aussi si le maître d'ouvrage choisit un bureau qui n'utilise pas le BIM , on ne sait pas collaborer mais donc ça dépend un petit peu des bureaux qui sont choisis. Donc moi je ne l'ai jamais utilisé mais en tout cas je dirais peut-être pour deux ou trois projets on l'avait fait. Par contre clairement la collaboration c'est un truc important mais il faut de nouveau, et c'est sur quoi je travaille, c'est faire une uniformisation des données qu'il y a à mettre dans le logiciel et comment est-ce qu'on les met dans le logiciel pour collaborer de manière plus efficace.

Doctorante : Quand vous disiez que ça dépend du bureau avec lequel on travaille je suppose que vous parliez de son niveau de maturité BIM et de sa capacité à travailler là-dessus.

R4: Oui.

Doctorante : D'un point de vue idéal, donc là vous êtes justement en train de travailler sur ce guide pour pouvoir uniformiser les données du logiciel, est-ce que c'est du coup quelque chose que vous placeriez dans l'idéal ? Donc je suppose que si vous le faites c'est parce qu'au MON ENTREPRISE vous avez identifié un problème sur cet aspect uniformisation des données et donc vous essayez d'œuvrer pour qu'idéalement on n'ait plus ce souci c'est ça ?

R4: Le problème majeur qu'on rencontre c'est que l'architecte modélise son modèle et puis en fait quand il doit le transmettre à l'entrepreneur pour faire ses quantités ben lui il n'utilise pas le même type de données donc en fait il remodelise complètement tout le modèle suivant ses conventions à lui et en fait on perd un temps énorme et ce n'est pas du tout efficace et donc ici le but du projet c'est d'avoir vraiment des

conventions sur la modélisation et je dirais de tous parler le même langage donc c'est vraiment un travail qu'on fait avec les bureaux d'études, les entrepreneurs pour voir comment les architectes modélisent, quelles infos ont besoin les entrepreneurs pour perdre un minimum de temps parce que le problème c'est qu'il y a aussi des infos du coup qui sont erronées, on perd des infos, il y a des infos qui sont mal interprétées et donc c'est source d'erreurs d'office.

Doctorante : Et du coup en fait actuellement chaque type d'acteurs modélise en fonction de ce qui lui sert à lui mais sans forcément penser de quoi va avoir besoin le suivant c'est ça ?

R4: Oui c'est ça. Puis typiquement un exemple hyper bête mais j'ai déjà eu un projet ou par exemple l'architecte avait modélisé... quasi toutes ses fenêtres et toutes ses portes étaient en modèle générique dans Revit par exemple, donc du coup quand on a dû exporter toutes les infos au format IFC tout était en BuildingElementProxy au lieu que les fenêtres soient dans "window" et les portes dans "door" donc tout ça c'est des trucs où en fait du coup l'info n'est pas ré-exportable mais c'est parce que l'architecte il a toujours modélisé comme ça et ça n'a jamais posé de soucis mais à partir du moment où on doit communiquer il faudrait avoir des conventions pour que tout le monde comprenne.

1:00:07 > 1:01:43 [Outro]

Doctorante : Ok, je ne sais pas si vous avez encore quelque chose à ajouter soit sur un des points qu'on a abordé soit quelque chose dont on n'a pas parlé.

R4: Comme ça il n'y a rien qui me vient à l'esprit.

Doctorante : Ok, si jamais dans les jours qui viennent vous avez une pensée pour nous, pour Anaïs et moi, pour notre recherche et que quelque chose vous revient vous pouvez toujours me compléter ça par mail.

Je voulais vous demander aussi, est-ce que vous souhaitez que vos propos soient anonymisés ? Là ce qu'on va faire c'est qu'on va retranscrire, la transcription elle ne va pas être publiée de manière publique mais par contre il y a des extraits qui pourraient être utilisés dans des articles scientifiques ou dans la thèse. Donc est-ce que vous souhaitez qu'on anonymise ces propos, dans ce cas-là ce qu'on fait c'est qu'on associe à un profil donc par exemple on pourrait dire "architecte et collaborateur au Mon entreprise" quelque chose comme ça ou dans un centre technique sans préciser parce qu'on travaille aussi sur la France en fait donc je pourrais juste ne pas préciser ou est-ce que vous n'avez pas spécialement de soucis avec ça ?

R4: Non je n'ai pas de soucis avec ça.

Doctorante : Ok, super. Du coup moi j'ai fait le tour de toutes mes questions donc je vous remercie pour le temps que vous nous avez accordé ça nous aide bien.

R4: Super.

Doctorante : Je vous souhaite du coup une bonne journée et une bonne semaine.

R4: Oui à vous aussi.

Doctorante : Merci au revoir.

00:00 > 00:56 [ Pas de thématique]

Doctorante : Donc je vais le poser pas trop loin de vous.

**R5: Juste si vous citez des choses ou quoi, je ne préfère pas être forcément cité**

Doctorante : Oui, ça fait partie de ce que j'allais vous demander, en général je repose la question en fin d'entretien comme ça vous avez bien en tête ce que vous avez dit et vous êtes conscient de si oui ou non vous avez envie d'être associé à vos propos. La plupart du temps ce que je propose c'est d'associer vos réponses à une sorte de profil donc expert durabilité ou BIM manager, des choses comme ça. Mais par contre je ne suis pas ici pour Mon entreprise, donc je ne vous interroge pas en tant qu'employé chez Mon entreprise mais plutôt pour votre profil général donc c'est vous, c'est personnel, et je ne cite pas votre nom si vous ne le souhaitez pas.

00:56 > 02:00 [Introduction]

Doctorante : Donc là je vais suivre mon speech habituel: Tout d'abord merci d'avoir accepté de participer à cette enquête. Je le redis tant qu'on est en train d'enregistrer, si vous l'acceptez je vais enregistrer notre échange. C'est prévu pour durer à peu près une heure mais parfois ça déborde un petit peu ou parfois ça prend un peu moins de temps. Mais par contre vous pouvez mettre fin à l'entretien à n'importe quel moment si vous en avez besoin. Il y a pas de sujet touchy dans l'entretien, c'est plus votre ressenti et sur votre expérience. On va parler des thématiques de la durabilité dans les pratiques BIM et le questionnaire est organisé en trois parties. La première elle sert à cerner rapidement votre profil, la deuxième sert à vérifier qu'on parle des mêmes choses quand j'utilise certains concepts, donc qu'on a la même compréhension des mots que j'utilise. La dernière partie elle questionne vos habitudes et vos idées par rapport à la mise en place d'une forme de durabilité. Mon étude générale est portée sur la durabilité dans les pratiques BIM mais déjà rien que la durabilité dans la construction m'intéresse aussi.

02:00 > 03:56 [Profil]

Doctorante : La première partie concerne votre profil et donc je voulais vous demander quelle formation vous avez suivie et combien d'année d'expérience vous avez dans le milieu de la construction, en particulier dans le BIM ,et vous pouvez me répondre que vous n'avez pas d'expérience dans le BIM, ça fait partie de votre profil, et dans la durabilité.

**R5: Je suis ingénieur civil mécanicien de l'UCL, de 2002 je pense.**

J'ai travaillé pendant 3 ans pour une société de, un fabricant de systèmes HVAC etc, j'ai travaillé pour la clim des avions au sol. Puis j'ai travaillé pendant une dizaine d'année à Bruxelles Environnement, dans la réglementation PEB et après en tant que responsable du département chauffage et clim PEB pour la mise en oeuvre, enfin le développement, la mise en oeuvre et la mise en application des réglementations de chauffage et de clim PEB à Bruxelles. Et puis j'ai travaillé en bureau d'études pendant deux ans, en tant que

coordinateur du service facilitateur bâtiment durable, et aussi à côté de ça j'ai fait des audits énergétiques et j'étais aussi conseiller climatisation PEB. Et maintenant depuis 4 ans j'ai rejoint Mon entreprise où je suis responsable de la matrice qualité Mon entreprise qui reprend tous les critères à prendre en compte dans le cadre de nos travaux. Critères qui sont soit commerciaux ou techniques mais également tout ce qui est durabilité, toutes les exigences qu'on aurait en terme de durabilité sur nos projets. Et aussi pour tout ce qui est économie circulaire.

03:56 > 05:12 [Profil] [Formation durabilité]

Doctorante : Et en termes de formations, par rapport à tout ce qui est durabilité, vous avez suivi des formations ou c'est des choses qui ont été apprises de manière autodidacte au fur et à mesure de votre parcours ?

R5: Alors j'ai appris beaucoup de manière autodidacte, soit par des lectures, par exemple le site Energie+m'a appris beaucoup de choses, ça c'était avant d'entrer à Bruxelles Environnement. Après j'ai eu pas mal de formations, les formations bâtiment durable donc tout ce qui était conception passive, conception en terme d'énergie, enfin des systèmes énergétiques. Ensuite j'ai fait la formation conseiller PEB en région wallonne. La formation conseiller climatisation PEB à Bruxelles, diverses formations dans le domaine de l'HVAC ou de la durabilité, et j'ai moi-même donné quelques formations, enfin quelques conférences aussi à l'Atic aussi à l'époque sur des... à l'Atic et à Bruxelles Environnement maintenant sur l'économie circulaire dans les projets, et à l'Atic plutôt sur les réglementations.

05:12 > 06:47 [Profil] [Formation numérique]

Doctorante : Et sur le point de vue numérique, est ce que vous utilisez le numérique ou avez utilisé le numérique dans le passé ou le numérique dans votre travail, et quand j'entends numérique c'est soit numérique au sens large, soit vraiment BIM en particulier ?

R5: Pas vraiment parce que mon métier à Bruxelles Environnement était de développer des réglementations et puis de la gestion d'équipes et de systèmes pour les mettre en oeuvre. Bien sur il y a des systèmes informatiques mais qui n'ont rien à voir avec de la conception numérique. Donc pas vraiment, à part évidemment oui les logiciels PEB etc mais le BIM en tant que tel c'est vraiment plus ici à Mon entreprise que j'ai commencé à vraiment rentrer dedans. J'avais déjà eu des présentations théoriques du BIM à Bruxelles Environnement, mais c'est plutôt ici dans mes discussions avec mon collègue que ça a vraiment évolué puisqu'on a commencé à beaucoup discuter de passeport matériaux. C'est surtout sur l'aspect passeport matériaux qu'on a discuté de cette intégration durabilité et BIM en fait.

Doctorante : Et donc pour vous le BIM c'est une approche qui se fait à travers des discussions, vous comprenez un peu le fonctionnement mais vous ne manipulez pas vous-même c'est ça ?

R5: On a eu des formations mais en fait quand on... deux jours après la formation en général on a oublié comment ça marche...

Doctorante : Oui surtout si on ne l'utilise pas.

R5: Oui (rires) .



06:47 > 11:40 [Définition des concepts] [Concept architecture durable]

Doctorante : Ok. Quelle est votre définition du concept d'architecture durable ? Comment vous définiriez l'architecture durable ?

R5: (long blanc) Alors j'ai pas de définition comme ça toute faite de l'architecture durable, et en plus on cherche plus ou moins sur tous les projets à améliorer la durabilité donc c'est... On essaie d'être toujours informés, être au courant des dernières évolutions, de qu'est ce qu'on pourrait faire, de garder l'expérience des précédents projets pour voir comment on pourrait les améliorer... Par exemple ici chez Mon entreprise on a rénové, enfin on est en train de rénover des tours, sur lesquelles on a développé un gros projet avec beaucoup d'aspects durables, beaucoup d'aspects en termes d'économie circulaire, qu'on essaie de répéter sur les autres projets mais en allant chaque fois un peu plus loin. Par exemple quand je dis aller un peu plus loin, c'est que sur le projet X, donc la rénovation des tours, le cahier des charges, puisque c'était pour la wllams overheid, le cahier des charges était très orienté économie circulaire, aborder un peu la thématique cycle de vie avec l'outil Totem mais qui s'est avéré un peu compliqué à mettre en oeuvre sur un projet d'une telle ampleur en fait, enfin il acceptait pas les projets de plus de 110 000 m<sup>2</sup> donc ça a été fait sur des parois de la construction pour identifier c'était quoi les meilleures solutions. Mais sur les autres projets, on met en place les analyses de cycle de vie de manière beaucoup plus, enfin on essaie de les mettre de manière beaucoup plus poussée, ce qui n'avait pas été le cas sur le X. On l'a fait faire par après, on a fait une analyse de cycle de vie sur le X par après, sur les autres projets maintenant on essaie de le faire vraiment en amont, on a un projet là de rénovation de trois immeubles, où depuis le début on suit les analyses de cycle de vie pour essayer de réduire au maximum l'impact environnemental du projet. Je vois pas vraiment de définition d'architecture durable, en fait pour moi aujourd'hui l'architecture devrait d'office être durable, parce que voilà c'est...

Doctorante : Et si vous deviez donner des mots-clés qui sont des points d'attention qu'on doit traiter quand on veut faire une architecture durable, qu'est ce que vous diriez ? Vous aviez déjà parlé de circularité mais est ce qu'il y en a d'autres qui vous viennent à l'esprit ?

R5: Oui, la circularité, les analyses de cycle de vie, pour le choix des matériaux. Et c'est un peu en lien avec la circularité mais finalement ça devrait s'appliquer à toutes les autres thématiques, c'est se projeter dans le temps. Voir comment... et en fait on doit déjà quelque part le faire, quand on fait des analyses de risque climatique on va voir dans le temps, avec l'évolution des risques climatiques, comment risque d'être impacté l'immeuble. Et en général on va avoir des problèmes liés aux inondations, ou avoir des problèmes liés à la surchauffe. Et donc, c'est se dire aujourd'hui: "Ok aujourd'hui mon bâtiment il peut fonctionner avec des grandes baies vitrées, si je mets un peu de clim", et encore, "un peu", mais en fait dans quelques années ça va vraiment devenir un problème. Et donc dans ce sens-là, voir dans le temps, pouvoir se projeter dans le temps, ça me paraît vraiment très important. Aussi sur les différents usages, et là on rejoint vraiment l'économie circulaire, de dire ok aujourd'hui mon immeuble il va fonctionner comme bureau pendant quelques années, si on veut qu'il puisse être reconverti facilement dans une autre fonction il faut le prévoir dès aujourd'hui. Maintenant c'est vrai que c'est pas évident dans le cadre de sociétés comme la notre qui ont une vision à plus court terme, puisque les immeubles on va les garder quelques années puis on va les revendre etc donc on a moins une vision sur le long terme, c'est probablement pas nous qui allons démanteler l'immeuble dans 30 ou 50 ans quoi. Et c'est parfois pas facile de se projeter, et c'est encore plus dur pour un promoteur qui va vendre son immeuble directement après, et finalement qui n'en a un peu rien à faire, si ce n'est si le marché lui impose quelque part de le faire.

Doctorante : En fait j'ai une approche très théorique du sujet puisque je passe ma journée à lire des articles etc, et donc pour essayer de définir architecture durable sans fermer la porte à certaines choses, il y a une définition qui est très globale qui est " une architecture qui est socialement équitable, écologiquement soutenable et économiquement viable", ça c'est basé sur la définition du développement durable, "du low

tech au high tech, et qui s'organise autour des concepts de soutenabilité qui mettent en avant à la fois l'impératif de durabilité des projets dans le temps et d'acceptabilité sociale et environnementale".

11:40 > 14:16 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM]

Doctorante : Est ce que ça vous est arrivé, puisque que vous connaissez un peu le fonctionnement du BIM, et en même temps vous êtes vraiment un expert de la durabilité, est ce qu'il vous est arrivé de vous dire que dans certains de ces sujets dont on vient de parler, le BIM pourrait aider ou au contraire vous n'avez jamais fait de lien entre les deux sujets ?

R5: Si si, d'après ce que j'en sais, donc les choses que j'ai pu appréhender notamment avec nos discussions avec notre BIM manager, ça peut nous aider sur différents points de vues. Déjà sur la gestion des matériaux, enfin je pense que c'est un des gros points du BIM qu'on mettrait en avant au tout début où j'ai eu des formations là-dessus. C'était le fait que si on concevait en BIM et qu'on suivait un chantier en BIM on allait éviter pas mal d'erreurs et donc une erreur c'est toujours forcément construire; déconstruire, et c'est des pertes de matériaux. Donc ça a un cout mais ça a aussi un cout environnemental. Donc rien que déjà pour ça, ça devrait déjà améliorer les choses. Je pense qu'il y a aussi tout ce qui est gestion de l'information. Ce qu'on veut par rapport au passeport matériaux, enfin aujourd'hui quand on veut réutiliser des matériaux dans un immeuble, si nous on va rénover un immeuble on va essayer de faire un inventaire, enfin on va réaliser un inventaire des matériaux existants, mais souvent on manque beaucoup d'informations sur ces matériaux. Et si on a pas d'information, c'est un peu ce que dis je pense Thomas Rauw, un matériau à partir du moment où il a perdu les spécifications, quand il les a plus ça devient un déchet en fait. Il perd toutes ses qualités. Donc le BIM pour ça me parait vraiment être un outil hyper utile pour garder l'information sur les matériaux qui sont mis en oeuvre dans un immeuble, aussi sur la façon dont ils sont mis en oeuvre. Mais pour autant qu'il soit mis à jour. Donc c'est pas le tout de faire un projet en BIM, c'est de voir comment dans la suite de sa vie est ce que le BIM continue à être mis à jour. Beh en fait si on l'a pas mis à jour au bout de quelques années peut-être quelques mois, c'est plus utile. Donc je le vois surtout sur une façon un de meilleure gestion d'un chantier, et donc d'éviter des erreurs et de faciliter la mise en oeuvre. Et donc par là améliorer la gestion des matériaux. Et puis après de la gestion de l'information dans le temps.

14:16 > 20:36 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale]

Doctorante : Est ce que vous connaissez le concept de durabilité sociale ?

Est ce que c'est quelque chose qui vous parle un petit peu ou pas ?

R5: La durabilité sociale oui, après je sais pas ce que vous entendez par durabilité sociale, si vous le définissez.

Doctorante : C'est assez difficile de le définir parce que ça fait appel à beaucoup de concept un peu abstraits mais les mots-clés que j'utilise c'est bien-être, participation, accessibilité, relations humaines, équité,... des choses comme ça.

R5: Donc dans les projets qu'on développe le bien-être est de plus en plus mis en avant. Les gens sont attentifs à l'endroit... nous on fait essentiellement du bureau. Même si on commence à développer d'autres fonctions, notre corps business au départ c'est du bureau, et les gens qui viennent au bureau, ils sont de plus en plus attentif à leur bien-être. Pour qu'ils reviennent au bureau, il faut que l'environnement au bureau soit sain, soit... donc il y a des certification comme les certification WELL que vous connaissez sans doute qu'on met en oeuvre sur nos nouveaux projets. On la met en oeuvre, c'est difficile pour nous parce qu'on fait pas toujours les aménagements, et en général on fait pas les aménagements intérieurs, or tout ce qui est bien-être est beaucoup lié aux aménagements intérieurs, néanmoins, on essaie de mettre en oeuvre les projets

pour qu'ils soient je dirais "WELL ready". C'est à dire qu'on a pas mis en place des choses qui empêcheraient un locataire d'aller plus loin et de demander une certification WELL. Dans certains cas on fait aussi les aménagements et dans ce cas on peut la demander mais sinon c'est avec les locataires, ou on pourrait aussi conseiller les locataires sur ce qu'ils pourraient mettre en oeuvre pour atteindre des niveaux élevés en termes de bien-être. Ca c'est surtout sur l'usage des matériaux, sur l'accès à de l'eau, ce genre de trucs. Donc pour nos utilisateurs oui, la création du lien social aussi. Enfin si vous voyez les bureaux ici, les bureaux ils ont ici été créés pendant la pandémie. Ils ont beaucoup changés dans le cadre de la pandémie, il y a eu un projet en mars 2020, et puis après au fur et à mesure de comment ça évoluait le télétravail le projet il changeait tout le temps, parce que le monde du travail changeait. Et donc ici on a vraiment un espace de travail qui est... enfin je pense que c'est assez rare, on est assez chanceux d'avoir un espace comme ça, on a l'impression d'être à la maison, il y a beaucoup d'échanges qui peuvent se faire parce qu'il y a des petits salons, il y a l'endroit où vous êtes arrivée qui est un grand bar pour l'accueil. Et donc la relation entre les personnes est vraiment mise en avant pour générer des échanges. Parce que c'est ça qu'on voit dans le monde du travail, c'est que l'évolution va vers peut-être réduire les espaces bureaux mais augmenter les surfaces d'échange. L'échange entre les employés... On le voit aussi dans le cadre de nos coworking, donc notre filiale Silver Square propose du coworking, où c'est vraiment l'idée d'avoir une communauté de coworkers, d'avoir beaucoup d'échanges, ce qui permet à des start-up de créer un nombre de connexions beaucoup plus important et donc d'avoir ces échanges et de faire évoluer leur produit ou leur service. Donc ça ça reste vraiment dans le monde du travail: les échanges, le bien-être. Il y a l'impact sur les quartiers, quand on a redéveloppé le projet X dans le quartier nord, ça a aussi un impact sur l'environnement. Parce que le quartier nord il y a toute une histoire de ce quartier qui a été défiguré dans les années 60-70 pour remettre en place un grand quartier de bureaux. Qui est devenu 100% bureaux et qui fait que c'est un quartier finalement sans vie. Et donc il y a eu tout un processus dans le cadre de la rénovation de ces tours pour voir comment revitaliser le quartier. Donc il y a encore aujourd'hui sous le ... je sais pas si c'est une association, je sais pas quel est son statut social, mais il y a Up for North qui existe qui rassemble tous les promoteurs, développeurs, propriétaires du quartier nord, pour voir comment redévelopper ce quartier pour y ramener la vie. Et donc dans le projet X, c'est un immeuble qui était 100% bureaux et qui est redéveloppé maintenant en bureaux, en coworking, en appartement, en hôtel, en commerces. Pour essayer de ramener de la vie dans ce quartier. Et là c'est plus sur l'environnement oui.

Doctorante : Et du coup c'est plus à l'échelle du quartier que du bâtiment finalement ?

R5: C'est de faire en sorte que le bâtiment soit intégré dans son quartier et soit acteur dans son quartier. On va essayer de mettre des espaces qui soient plus accessibles au public au sein du bâtiment, et dans le projet X il y a une serre, alors on peut discuter de la durabilité de l'aspect "serre" par rapport à un parc, néanmoins cette serre est amenée à être ouverte au public pour que les gens puissent déambuler dans cet espace. Dans un autre immeuble qu'on a un peu plus loin qui est le Quatuor, il y a un intérieur d'îlot qui est aussi accessible au public. Donc quand c'est possible on essaie de pouvoir intégrer le public dans l'immeuble, pour un peu limiter l'aspect "Ok ça c'est un immeuble de bureau impénétrable", donc les gens vont circuler autour mais une fois que cet immeuble va être éteint il y a plus de vie. Il est là, il y a plus d'interaction avec son environnement. Donc on va essayer de mettre plus d'interaction avec son environnement quand c'est possible.

Doctorante : Et par quel moyen vous pouvez ajouter ce genre d'interaction ? Comment vous pouvez vérifier à l'étape de conception que cette action là va générer des interactions ?

R5: Bah si on met une serre qui est accessible au public, on espère que les gens vont rentrer dans la serre. Et donc quelque part il vont rentrer dans l'immeuble. Le fait d'avoir des appartements, d'avoir un hôtel, d'avoir des commerces, c'est quelque chose qui fait que l'immeuble va rester en vie tout le temps. Dans le projet X, un des concepts mis en place par les architectes c'était d'avoir ... en gros, un étage sur deux dans les tours va être de différentes affectations. Donc dans une des tours, un étage sur deux c'est du logement

ou c'est du bureau, dans une autre tour ça va être hotel ou bureau, ce qui fait que la tour est toujours en fonctionnement. Il n'y a pas une partie de tour qui va être éteinte la nuit ou le week-end parce qu'il n'y a personne. Ça va toujours être actif. Et aussi toutes les façades sont activées, parce que les accès se font à différents endroits autour du bâtiment, pour essayer que tout le pourtour de cet immeuble soit toujours un peu en vie. Alors vérifier que ça marche dans la pratique ça on le verra après.

20:36 > 22:16 [Définition des concepts] [BIM et durabilité sociale]

Doctorante : Et est ce que vous travaillez également sur les matériaux ? Enfin du coup vous me disiez que vous n'allez pas souvent jusqu'aux aménagements, mais dans c'est le cas est ce que vous réfléchissez aux matériaux utilisés pour qu'il y ait par exemple une variation dans les matériaux ? Ici je ne sais pas, est ce que c'est Mon entreprise qui a aménagement ses propres bureaux ?

R5: Ici c'est nos architectes d'intérieur qui ont conçu le projet oui. Donc ici on peut voir qui a vraiment des choix de matériaux qui induisent des espaces différents. Donc déjà on a des tapis qui induisent une dynamique dans les choix de couleurs, mais je sais pas si vous avez vu en marchant quand on marche il y a des parties qui sont en dalle vinyles, il y a des parties qui sont en tapis, alors on peut discuter de l'aspect durable des dalles vinyles, la question du PVC reste ouverte. Néanmoins l'idée était d'avoir un contact différent, le vinyle est beaucoup plus dur, et c'est les espaces où il y aura potentiellement plus de bruit. Le tapis lui est plus doux et ce seront les espaces plus calmes. Donc il y a eu toute une réflexion par rapport à ça quand même. Après ils ont essayé d'introduire comme vous le voyez ici, ici en-dessous les dalles ça vient de chez ROTOR, c'est des tomettes qui ont été récupérées je pense sur un projet à Anvers. Les chaises ce sont des chaises de récupération, la table aussi je pense que c'est du réemploi, donc il y a eu une réflexion par rapport à ça aussi pour essayer d'amener un peu de réemploi. Ça fait pas un projet entièrement circulaire mais il y a quand même déjà une réflexion qui a été induite par ça, sur ces thématiques-là, par des architectes d'intérieurs qui sont vraiment demandeurs de pouvoir développer ce type de réflexion. En fait ça les amuse, ça les excite de pouvoir, ouais trouver d'autres choses dans les projets.

22:16 > 24:22 [BIM et durabilité sociale]

Doctorante : De pouvoir se challenger avec un critère en plus. Et qu'est ce que vous pensez du fait d'utiliser le numérique, plus précisément le BIM, pour traiter ce genre de choses qui sont finalement fort sensibles, et qui sont fort liées à la perception humaine des choses ? "C'est vivant ou c'est mort", est ce qu'on sait vérifier ça ou calculer ça avec le BIM ? Est ce que ça vous semble envisageable ou pas ?

R5: Vivant, mort, ça veut dire que vous intégrez quoi dans ... ?

Doctorante : C'est parce que vous parliez tout à l'heure de façades vivantes, ou actives, du fait que le quartier soit vivant. C'est des mots que vous avez utilisés c'est pour ça que je les réutilise. Et du fait que les gens se sentent bien aussi, parce que réussir à se projeter dans comment les gens se sentiront on le fait parce qu'on est humain et donc on se projette dans comment d'autres humains se sentiront, mais est ce qu'on saurait rationaliser ça pour le traiter avec le BIM ?

Qui est lié à l'emploi de banques de données. Ou est ce que ça vous semble pas du tout cohérent de faire ça ?

R5: (réflexion) Là je vois pas vraiment...

Doctorante : Vous pouvez me dire que ça ne vous semble pas.. ça peut être une réponse.

R5: Oui je ne vois pas... Je pense que là il y a du ressenti humain, et c'est difficile de remplacer par un calcul... Finalement ces projets sont toujours créés par des architectes qui ont des affinités, leurs ressentis, et c'est cette base là qui est hyper importante aussi. Et qui est pas remplacée par le BIM, qui est pour moi un outil pour gérer la conception, pour gérer les données, les informations.

24:22 > 25:20 [Pas de thématique]

Doctorante : Je vais vous montrer maintenant un tableau qui a été réalisé sur base de lectures d'études et la littérature de manière générale, dans lequel on a recensé des critères de durabilité sociale. Et des possibilités d'interaction avec le BIM. On va les passer en revue, mais si certaines choses ne vous parlent pas, vous pouvez le mentionner, ça fait partie des informations que je cherche. Et si possible à chaque fois ce serait intéressant de voir si c'est des choses que vous avez déjà expérimenté par le passé, que vous expérimentez encore maintenant, que vous expérimentez dans le futur, ou d'un point de vue idéal ça pourrait être expérimenté, ça vous semble intéressant à expérimenter, mais pour l'instant ça serait pas possible parce que contraintes financières, ou techniques, ou technologiques, ... Je vous montre ce tableau. Il est fort orienté numérique du coup.

R5: Ok.

Doctorante : Car c'est à ce moment-là qu'on entre vraiment en interaction avec le BIM. Je pense qu'on va faire point par point, donc d'abord Sécurité, puis Confort des usagers, donc on va parcourir un petit peu ce qui se trouve à côté.

25:20 > 28:09 [Sécurité]

Doctorante : Le premier point qu'on a relevé de durabilité sociale c'est la sécurité, et donc les possibilités d'interaction avec le BIM qu'on a relevées c'était par exemple l'utilisation des données des précédents chantiers pour pouvoir identifier les accidents qui sont fréquents, vérifier les règles de sécurité, estimer les coûts des équipements de sécurité ou localiser sur le chantier en temps réel les ouvriers et les équipements qui seraient non qualifiés par rapport à un équipement lourd, qui n'auraient pas à se trouver à côté car ça pourrait être dangereux pour eux. Ou l'utilisation de capteur dans les casques des ouvriers pour pouvoir justement les localiser sur le chantier. La visualisation des espaces de sécurité requis pour pouvoir manipuler les équipements, l'identification des conflits horaires entre équipes et équipements lourds, et aussi la gestion des interventions en cas d'incendie, et l'entraînement et la formation des usagers à la sécurité. Donc avoir un support pour pouvoir former les usagers. Est ce qu'il y a des éléments là-dedans qui vous parlent ? Parce que vous avez fait, ce que vous faites, ce que vous pensez faire dans le futur ?

R5: (réfléchit)

Doctorante : Ou par ce que vous avez entendu par vos collègues, car vous êtes quand même dans un milieu assez pluridisciplinaire.

R5: Oui... En fait cette question il faudrait plutôt la poser quelque part aux entreprises générales qui sont vraiment gestionnaires de leur chantier. Puisque nous on va leur imposer des... enfin on veut pas d'accident sur nos chantiers, mais ce n'est pas nous qui gérons les chantiers. Quand un chantier est fait, c'est l'entreprise générale qui est responsable de son chantier donc c'est qu'elle qui devrait voir ce qu'elle peut mettre en place avec le BIM pour éventuellement améliorer ces points. Maintenant il faut voir dans la pratique, parce que c'est vrai que je vois des choses qu'on nous présente... Mon collègue nous a déjà montré, où on peut imprimer avec le BIM, on va aller imprimer par terre sur les dalles là où vont être les cloisons etc. Avoir des

casques de réalité augmentée pour aider les ouvriers à mettre en oeuvre tel ou tel équipement. On est encore loin de ça aujourd'hui dans la construction telle qu'on la vit. Il y a quand même encore un gap entre.. tout le monde fait pas du tout du BIM encore, on est encore vraiment loin. Ça je vous invite à voir avec une entreprise générale, est ce que c'est des choses faisables ? Mais bon un chantier comme le X il y a 700 ouvriers parfois sur le chantier, c'est compliqué de mettre en place des capteurs sur les casques... C'est vraiment une petite usine comme ça donc...

28:09 > 39:16 [Confort des usagers]

Doctorante : Le point suivant c'est celui du confort des usagers. Donc là c'est lié.. Le premier point est très lié à la phase chantier, donc confort des usagers c'est plutôt lié à la phase d'occupation. Donc une collecte des données liées à l'occupation des bâtiments, une simulation de l'éclairage naturel, donc c'est plutôt en phase de conception, l'identification des causes d'inconfort qui seraient liées à l'agencement des espaces, le monitoring de la production d'électricité et de chauffage, l'estimation des coûts liés à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers.

R5: (long blanc) Euh... Collecte des données liées à l'utilisation des bâtiments, je pense qu'il y a déjà des choses qui se font dans ce sens-là, soit avec des capteurs au-dessus des bureaux ou un peu comme on peut avoir dans les parkings, qui disent combien de personnes sont encore là ou pas. Le nombre de places disponibles ou pas. Nous on l'a jamais mis en oeuvre encore. Et je sais pas quel est le retour d'expérience là-dessus. La simulation d'éclairage naturel, on va faire des études d'éclairage dans le cadre de nos projets. Est ce que ça se fait via le BIM ? Je pense qu'aujourd'hui ça se fait via d'autres logiciels. Peut-être qu'il existe d'autres solutions qui sont intégrées au BIM, ça je ne le sais pas. Identification des causes d'inconfort liées à l'agencement des espaces... (blanc) Quel type d'inconfort ? Est ce qu'on parle d'inconfort thermique, d'inconfort acoustique, inconfort...

Doctorante : Ça peut être un petit peu tout, c'est très large comme... ça peut être un agencement qui n'est pas pratique, qui est mal pensé, mais ça peut aussi être un agencement thermique, acoustique, ... Ou ventilation ou des choses comme ça.

R5: J'imagine qu'on pourrait... si on suit l'occupation des bâtiments de manière précise on pourrait voir des espaces qui sont peu ou pas occupés dans l'immeuble ou dans l'espace de bureau et se dire "Tient là, il semble que il y a personne qui va aller donc potentiellement il y a un problème". Je vois plutôt ça comme ça. Je trouve que la question de l'inconfort elle est par ailleurs, enfin sinon au-delà de ça la gérer avec l'informatique je trouve ça compliqué par ce qu'elle est hyper subjective. Il y a des gens qui vont être beaucoup sensibles, ou qui vont demander tel ou tel type de confort. Donc c'est difficile de la gérer au-delà d'un espace qui serait ou non occupé. On peut pas dire "Ok parce qu'il fait telle température c'est confortable ou c'est pas confortable". Et puis ça peut être lié aussi à des situations passagères. Ici il y a plein de bruits parce qu'on est en train de rénover le 4ème, ça peut créer de l'inconfort. On pourrait dire qu'à certains endroits les gens ne vont plus parce qu'il y a des travaux. Ou parce que l'immeuble à côté aussi est en train d'être rénové. Le monitoring de la production d'électricité et de chauffage... (blanc) Oui alors aujourd'hui on la traite pas dans le BIM. Je sais pas si le monitoring de la production d'électricité et de chauffage est vraiment en lien avec le confort des usagers. Par contre ici par zone on sait déterminer les températures qu'on a. Et on peut l'utiliser, enfin c'est prévu comme ça, à l'entrée dans le grand écran on affiche les températures en fonction des espaces. Et donc ça pourrait permettre aux usagers, donc à nous les employés, de se dire "Tient moi j'irais bien à cet endroit-là parce que la température est de autant". Et donc je vais pas aller à un autre endroit où c'est plus froid et où je vais demander du chauffage, je vais plutôt aller à cet espace-là. En pratique on le voit pas vraiment parce que les gens sont quand même habitués à aller travailler à leur endroit habituel en fait. Ils aiment bien leur endroit, leur poste de travail finalement. Tout aussi flexible que ce soit. Ce monitoring au niveau de l'espace permet aussi de dire "Tient là il fait trop chaud, si vous voulez vous pouvez ouvrir les fenêtres parce qu'il fait plus froid dehors". Donc c'est plutôt comme ça qu'on pourrait l'utiliser, maintenant

aujourd'hui nous c'est pas lié au BIM, c'est dans la gestion technique centralisée de l'immeuble. Nous aujourd'hui le BIM en exploitation on y est pas du tout. Donc on utilise pas ça. Je sais pas s'il y a beaucoup de bâtiments en Belgique qui sont suivis comme ça, je pense que dans d'autres pays c'est plus le cas, en France, en Angleterre,... Chez nous c'est vraiment pas encore le cas. Parce qu'il faut le système pour le gérer, et parce qu'il faut les gens aussi pour le gérer, c'est pas le tout d'avoir des données, on a un monitoring très poussé dans nos immeubles. En fait c'est pas évident parce que tout mesurer et ne rien en faire.. Et il faut avoir confiance dans l'information, c'est pas si facile que ça de mettre en place un monitoring, et de s'assurer que les valeurs qui nous sont renvoyées par l'outil soient les bonnes. Ça demande un vrai bon suivi. Et par rapport à ça moi je serais plus pour commencer petit et déjà... déjà aujourd'hui tout le monde fait pas sa comptabilité énergétique. Nous on l'a pas forcément sur tous les immeubles, et ce serait peut-être déjà la base en fait. Et puis il faut voir ce qu'on en fait parce que... Quand on montre une température aux gens... Enfin c'est très subjectif la température aussi, on disait tout à l'heure, le confort c'est subjectif. On sait pas... Personne sait dire "Là il fait 21 degrés". On le sait parce que c'est écrit. Et peut-être que notre comportement va être influencé par ce qu'on va lire. Plus que par notre ressenti finalement. Je trouve que le point du confort est hyper compliqué à gérer dans un immeuble. Et en fait beaucoup plus encore dans un immeuble de bureau que dans un immeuble de logement. Souvent on va avoir nos collègues ici qui vont dire des choses et on va leur demander "Oui mais chez toi, tu fais quoi ?" T'arrives chez toi, tu vois qu'il fait un peu chaud, qu'est ce que tu fais ? T'as pas la clim chez toi. Même si y en a certains qui ont la clim mais on est encore peu nombreux à avoir la clim chez soi, et donc on accepte qu'il fasse un peu plus chaud. Et puis ça va. Et au bureau par contre il faut vraiment que la température soit celle qu'on souhaite.

Doctorante : Et est ce que c'est pas lié au fait que justement il y a des capteurs qui informent les gens et donc qu'ils prennent conscience de la température qu'il fait plus facilement que chez eux où ils le vivent et bon il fait chaud mais ils ont pas un chiffre à appliquer à ce chaud ? Alors qu'ici si il fait chaud ils savent exactement pourquoi il fait chaud. De combien de degré on va dire il fait chaud.

R5: Oui et c'est aussi sur le fait qu'ils sont au travail, on leur met à disposition un espace de travail et donc ils estiment que ça doit être le meilleur confort possible. Alors que chez eux les systèmes qu'ils ont mis en place c'est eux qui les ont mis en place... Enfin suivant les cas de location etc.. Et potentiellement ça va avoir un coût. Je veux dire on le voit aujourd'hui avec le coût de l'énergie les gens ont baissé leur chauffage chez eux voire ne l'on pas rallumé. On entend beaucoup de gens qui sont pas forcément des gens qui faisaient attention avant chez qui il fait 15° degrés maintenant, et qui se sont un peu pris au jeu même. Au bureau ils ont pas la conscience de ce qui est effectivement consommé, pas conscience des ordres de grandeur. Peut-être que ça, en termes d'information à donner, ça peut être utile. Maintenant est ce que c'est via le BIM ou via d'autres outils... Mais pouvoir dire "Ben tient aujourd'hui, tel immeuble normalement on a plus d'immeuble au mazout mais avant on avait un immeuble qui était encore au mazout et on pouvait dire "Ah beh tient par jour on a consommé autant de millier de litres de mazout, ça représente autant d'hectare de forêt si on se chauffait au bois". Ou des centaines de mètres carrés. Et ça ça peut peut-être aider les gens à un peu se resituer dans leurs exigences. Mais vous avez raison que quand on voit les choses ça peut avoir une influence positive ou négative. Je pense qu'il y a aussi l'action. Ici on peut accéder au thermostat et demander plus chaud, plus froid, on peut ouvrir les fenêtres. Quand les gens peuvent agir sur leur environnement ils l'acceptent déjà plus, et dans ce sens-là c'est ce que je disais tout à l'heure, ce qui a été mis en place ici, ce qu'on souhaite mettre en place, le fait de pouvoir dire "Ah beh tient oui c'est une bonne idée d'aller ouvrir ta fenêtre", ça peut aider je pense. Donc de laisser la possibilité aux gens d'agir sur leur climat intérieur, tout en les aidant à faire les bonnes choses.

Doctorante : En fait le fait de pouvoir agir sur son environnement c'est un des facteurs de bien-être dans un bâtiment effectivement. Il y a plusieurs choses comme effectivement la diversité de matériaux, le toucher agréable, la végétation etc. Mais effectivement le fait d'agir permet de mieux se sentir dans un bâtiment.

R5: Oui ça je pense que la plupart des études le montrent, et quand j'étais à Bruxelles Environnement dans l'ancien site, donc avant on était... Enfin je sais pas si vous voyez le site de Bruxelles Environnement, près de Tour&Taxi il y a un nouvel immeuble. Avant c'était dans deux bâtiments, il y en a qui était climatisé et l'autre pas. Un bâtiment qui était non climatisé on pouvait ouvrir les fenêtres et un bâtiment qui était climatisé où on pouvait pas ouvrir les fenêtres. Et ils avaient fait des études sur le ressenti des employés, et en fait le ressenti dans l'ancien bâtiment donc dans lequel on pouvait ouvrir les fenêtres, était meilleur que dans le bâtiment climatisé avec des fenêtres sur lesquelles on pouvait pas agir, enfin il y avait aucun thermostat sur lequel on pouvait agir. Et je pense qu'il y a plein d'études qui le montre en fait. Mais par contre si on peut ouvrir les fenêtres il faut que ce soit fait de manière intelligente. Si on ouvre les fenêtres en plein été alors qu'il fait encore plus chaud dehors ça va pas fonctionner. Si on ouvre les fenêtres alors qu'on est en train de climatiser, ça va pas être une bonne idée non plus.

Doctorante : Est-ce que vous avez encore quelque chose à ajouter sur cette catégorie-là ?

R5: Non. Enfin il y avait aussi le point des coûts, après les coûts... oui j'imagine que ça peut permettre d'avoir un métré et d'identifier les coûts... Je n'ai plus grand chose à dire.

39:16 > 44:00 [Processus d'apprentissage]

Doctorante : Le point suivant c'est les processus d'apprentissage, autant pour les étudiants que pour les professionnels de la construction. Donc le fait de pouvoir utiliser le BIM pour apprendre en considérant que l'apprentissage est un facteur de durabilité sociale. Et donc les exemples qui étaient repris c'était de « visualiser les espaces améliorer la compréhension de l'aménagement des espaces grâce à cette simulation, et aussi apprendre les principes de construction durable avec la simulation et pouvoir manipuler une maquette numérique » où on teste "Beh voilà si on a ce type de matériau qui est mis en place, voilà quel est l'impact sur le bâtiment ?" puisqu'on peut faire des simulations de Performance Énergétique des Bâtiments après avec ça. Donc est ce que c'est quelque chose qui vous parle ?

R5: Alors oui dans un idéal... Nous on est confrontés au problème aujourd'hui que tout se fait dans des outils séparés. Donc on va avoir le BIM pour la conception, mais on va avoir après un outil Performance Énergétique des Bâtiments dans lequel on va faire nos calculs Performance Énergétique des Bâtiments, on va avoir des outils de simulation dans lequel on va faire quelques simulations dynamiques pour voir le confort thermique, surtout en froid. On va avoir des outils pour évaluer l'éclairage, on va avoir des outils pour faire des analyses de cycle de vie. Et même on va encore avoir des outils pour évaluer la circularité d'un projet. C'est tout des outils séparés dans lesquels on doit introduire plein de données. Et souvent un peu les mêmes données en fait. Donc dans ce sens-là évidemment le BIM ... enfin le BIM ou plus généralement d'avoir un outil intégré qui permet de faire tout ça ce serait un peu l'idéal. Après est ce que c'est envisageable, est ce que c'est souhaitable, ça j'en sais rien j'ai pas assez de connaissance là-dessus. Mais c'est évidemment dommage qu'on introduise toutes des données dans un logiciel Performance Énergétique des Bâtiments pour calculer la performance énergétique, dans lequel on va introduire toutes les parois et puis après on va introduire les mêmes données dans un outil d'analyse de cycle de vie pour faire des simulations sur les différents types de parois pour évaluer quel serait le meilleur matériau d'un point de vue environnemental. C'est un peu dommage. Après je sais que c'est pas aussi simple que ça et pour en avoir discuté déjà avec mon collègue, ça pose plein de difficultés qu'un néophyte comme moi ne peut pas forcément appréhender, mais c'est pas aussi simple que ça. De ce que j'ai compris.

Doctorante : Mais actuellement vous ressentez une sorte de frustration à devoir à chaque fois réencoder les mêmes informations mais dans des logiciels différents ?

R5: J'ai pas de frustration par rapport à ça mais ça a un coût, c'est pas la façon la plus rationnelle de fonctionner. Et ça risque d'avoir des différences aussi. "Ok on a modélisé ça dans le logiciel Performance Énergétique des Bâtiments mais en fait on a modélisé ça dans l'outil d'analyse de cycle de vie". Maintenant



je sais que sur l'outil Totem par exemple ils travaillent à une intégration de la circularité déjà, mais aussi des aspects Performance Energétique des Bâtiments. Je pense qu'à terme ils aimeraient bien que l'outil Totem puisse répondre aux deux déjà. Alors est ce que le pas suivant c'est de l'intégrer au BIM ? Ou simplement que le BIM puisse via un export plus facilement être intégré dans ces outils ? Aujourd'hui les analyses de cycle de vie souvent on peut faire un export du BIM directement dans l'outil. Et c'est la même chose pour les passeports matériaux. Et la visualisation, d'un point de vue commercial, ça je pense que oui. Maintenant avec ses limites. Des choses qu'on voit c'est super bien fait, maintenant c'est ce que vous disiez tout à l'heure, par rapport à un ressenti qu'on peut avoir sur un aménagement. Je vais pas avoir le ressenti de la chaise avec une réalité augmentée, ou avec le toucher d'un tapis quand je marche. Ou le bruit de la dalle PVC quand je marche dessus... C'est des choses qu'on va pas forcément avoir. Mais ça peut certainement aider en terme de conception des espaces pour la circulation etc.

44:00 > 45:18 [Patrimoine culturel]

Doctorante : Le point suivant ça concerne le patrimoine culturel. Qui concerne du coup la modélisation des bâtiments à différentes époques, pour pouvoir les comparer, comparer les évolutions. Avoir des bibliothèques numériques des bâtiments historiques, .. Donc ça c'est plutôt la partie vraiment culturelle. Et après il y a plutôt la partie maintenance du patrimoine culturel avec la surveillance des bâtiments et la maintenance et l'entretien des bâtiments et aussi la réduction des coûts de maintenance. Je sais pas si vous avez déjà eu l'occasion de travailler sur un bâtiment avec une valeur patrimoniale un peu spéciale ?

R5: Ce bâtiment-ci il y a des parties classées. Et de toute façon on est dans ce qu'on appelle "l'ilot sacré" donc la façade aussi on peut pas faire ce qu'on veut. Et en bas il y a des salles, enfin quand vous êtes rentrée vous avez du voir l'espace "Sparks" qui est un espace de réunion. Là il y a une salle de théâtre, cinéma, qui est elle est classée, donc il y a des espaces classés mais on a jamais utilisé... enfin ça n'a jamais été lié avec le BIM. Donc c'est pas quelque chose avec lequel on est coutumier.

45:18 > 47:33 [Communication avec les usagers]

Doctorante : Le dernier point ça concerne la communication, et en fait je l'ai scindé entre communication avec les usagers et communication entre les acteurs du projet parce que c'est quand même deux choses assez différentes. Donc le premier que j'aborde c'est la communication avec les usagers, et donc là c'est à nouveau la visualisation des solutions proposées, donc avoir... parce que parfois parler sur plan c'est quelque chose qui parle pas du tout à des gens qui sont pas du milieu (il confirme) , donc le fait d'avoir une maquette en 3D peut être un outil supplémentaire pour faire comprendre les choses. Mais également le fait de pouvoir intégrer la participation citoyenne, par exemple à travers les réseaux sociaux, avoir un plugin qui viendrait pouvoir faire des enquêtes de quartier, et pouvoir un avis du voisinage, ou des futurs usagers sur le bâtiment qui est en cours de construction. Ou de conception.

R5: Alors pour le premier point ça c'est des choses qu'on fait. En tout cas il y a des projets pour lesquels on a des visualisations du projet. Et de toute façon il y a toujours des images 3D qui sont éditées parce que ça c'est sur que les gens, sur un plan, ne peuvent pas se projeter. Donc pour ces aspects-là certainement. Avec les limites qu'on a dites tout à l'heure. L'intégration de la participation citoyenne... oui pourquoi pas. Je pense pas qu'on l'ait déjà fait, mais par exemple pour le projet X il y a un site qui est dédié, sur lequel tout le monde peut aller, voir les évolutions du projet, on met des petites vidéos sur des événements particuliers, quand on a foré les puits de la géothermie, ou le montage d'une tour, d'une grue-tour ou ce genre de choses. J'imagine que ça pourrait être un vecteur en plus pour montrer "Tient voilà comment ça va être... comment sera la serre quand elle sera finalisée..." pourquoi pas oui.

47:33 > 52:47 [Communication entre les acteurs du projet]

Doctorante : Le dernier point du coup c'est la communication entre les acteurs du projet. Et donc là c'est quelque chose qui est très souvent mis en avant de manière majoritaire quand on parle du BIM, c'est tout l'aspect collaboratif qui a autour de ces logiciels-là. Avec notamment le recensement des échanges qui sont liés au projet et une collaboration améliorée.

R5: Donc ici on a tous été formés à BIM Collab. Je pense qu'il y a une ambition de travailler un maximum comme ça donc de manière collaborative autour d'un modèle BIM. Pour les aspects durabilité on le fait pas encore vraiment, je pense que ça va être beaucoup utilisé pour les aspects architecturaux, les aspects stabilité, où c'est utilisé pour faire les PV de réunion, pour faire les... identifier les difficultés et pouvoir les suivre et voir jusqu'au moment où elles vont être résolues. On l'utilise pas encore dans le suivi des aspects durables du projet. Mais enfin pourquoi pas hein. S'il y a un endroit qui rassemble toutes les discussions etc ça semble une bonne idée. Pour autant que tout le monde puisse l'utiliser.

Doctorante : Qu'est ce que vous entendez par "puisse l'utiliser" ?

R5: Que ça ne demande pas d'avoir une formation poussée sur un outil pour pouvoir l'utiliser au mieux. Si ça devient trop lourd à utiliser, ça va pas aider les gens. C'est pas si facile de faire changer la façon de travailler. Je sais pas aujourd'hui dans les études d'architecture si on est déjà fort formé au BIM ou pas ?

Doctorante : Ca dépend des endroits.

R5: Ok. Bah voilà tous les architectes vont pas débarquer en disant "ils sont super calés en BIM". Comme il sont pas forcément tous hyper calés en durabilité... C'est pas encore... Il y a encore un gap entre la recherche et le monde réel quoi. Parce que c'est vrai que voilà on parle de tout ça, on parle du BIM, on parle des aspects numériques du projet et donc on le fait, on le vit, mais en fait il faut bien se rendre compte qu'il y a... tout le monde travaille pas du tout en BIM. Il y a plein de développeurs qui utilisent pas du tout le BIM encore. Quand on voit déjà les questions des gens par rapport à la Performance Énergétique des Bâtiments déjà. A la différence entre un certificat PEB et la réglementation PEB travaux... Alors que c'est une réglementation quand même qui date de 2006... C'est dur.. enfin il faut que ça percole quoi.

Doctorante : Et vous pensez que c'est lié à la formation du coup ? Parce que vous parliez de la formation ?

R5: Oui je pense en partie, après évidemment on apprend beaucoup de choses après sa formation. Mais l'autre jour il y avait un gars qui faisait son stage ici en BIM, quelqu'un qui venait de l'ECAM, en génie civile, enfin en construction quoi. Et il découvrait ce qui était par exemple la certification sur les bois, labellisation FSC PEFC, c'est quelque chose dont il avait jamais entendu parler. Je trouve ça étonnant en fait, qu'on ait pas... ça semble un peu la base quoi. Aujourd'hui un projet en général il va être FSC ou PEFC. Donc c'est pas en lien directement avec le BIM mais.. c'est marrant le décalage entre les études finalement et le monde dans lequel on évolue quoi. Le BIM on essaie de le mettre en place mais je sais que sur certains projet on a parfois eu des difficultés à se dire "ah ouais ok en fait ce bureau-là il travaille pas avec le BIM" et ça va mettre plus de temps à le former, à ce qu'il puisse collaborer sur le projet avec une plateforme BIM, que simplement lui envoyer des plans 2D et qu'ils se débrouille.

Doctorante : Et vous pensez que c'est souhaitable d'une maximum de gens, ou de bureaux finalement, travaillent avec cette méthode-là, ou que c'est une méthode qui peut co-exister avec d'autres méthodes plus traditionnelles ?

R5: Beh dès que ça co-existe il risque d'y avoir différentes informations et que les projets évoluent pas en même temps quoi donc... oui si il y a un modèle BIM qui est à jour, qui est accessible par tous les acteurs du projet, c'est évidemment idéal. Si on parle de conception, et puis en exploitation finalement aussi, si il est à jour.

52:47 > 54:06 [BIM et durabilité sociale]

Doctorante : Mais en même temps le BIM est pas forcément un pré-requis pour faire de la durabilité puisque vous n'utilisez pas le BIM mais... (coupée par l'interlocuteur)

R5: Non enfin on va l'utiliser indirectement, nos bureaux d'études quand ils vont faire les calculs, qu'est ce qui est maintenu... de la structure et qu'est ce qui va être démolé, il va y avoir des plans qui vont être édités via le BIM. Mais il y a plein d'immeubles durables qui sont faits sans BIM. Et je pense qu'il y a certainement des immeubles durables qui ont été faits avant le BIM.

Doctorante : Est-ce que vous pensez que ça peut être lié aussi à l'échelle des projets ?

R5: Certainement parce que ça demande quand même certains moyens financiers, et des moyens humains. Je pense que tout ce qui est rénovation de maison c'est... Je pense pas qu'il fasse déjà du BIM. Je crois que sur une petite entreprise... Demander à un petit entrepreneur général de pouvoir suivre son chantier en BIM, ça semble encore un idéal difficile à atteindre.

54:06 > 58:46 [Motivation à la durabilité]

Doctorante : Et concernant la durabilité, est ce que vous pensez qu'il y a une grosse différence de traitement justement entre des projets plus imposants et des projets d'une habitation familiale... Est ce que vous identifiez des choses qui ne fonctionnent pas d'un côté ou de l'autre ? Alors que ça fonctionne de l'autre côté ?

R5: Ça va dépendre, une maison unifamiliale qui est rénovée par son propriétaire pour lui, c'est pas la même chose qu'une maison unifamiliale qui est rénovée par... ou qui est construite par un promoteur. Quand on le fait pour soi souvent, on va peut-être être moins attentif à l'aspect économique, si c'est possible. Ou on va se permettre certaines choses parce qu'on a vraiment envie de le faire. Je vois des gens qui rénovent leur maison, qui vont aller à fond dans la durabilité. Sans vraiment se demander "Est-ce que c'est rentable ou pas ?". En général ça le sera pas finalement. Mais ils le font parce que c'est leur maison, et ils ont envie que leur maison soit la plus chouette possible à tout point de vue. Nous on va plus être sur un calcul de rentabilité, économique. Par contre on va être poussés par le marché plus, le marché va dire "Ok, nous on veut des immeubles qui soient comme ça sinon vous allez pas louer ou vous allez pas vendre votre immeuble". Donc le marché va nous pousser. Par ailleurs on a...

Doctorante : Vers la durabilité ?

R5: Vers la durabilité. Et par ailleurs on a certains moyens financiers qui peuvent nous permettre de faire changer des choses. Par exemple, on s'écarte un peu du BIM mais, sur le projet X on a mis en place le recyclage du béton qui était démolé, parce qu'il y avait une partie du béton qui était quand même démolé, même si on a gardé une grosse partie de la structure. Et c'est quelque chose qui n'existait pas auparavant. Enfin, le recyclage pour refaire du béton qui est utilisé dans l'immeuble, et ici en l'occurrence pour faire des dalles de compression, des prémurs, des prédalles, c'est quelque chose qui se faisait pas avant. Pour des questions réglementaires, pour des questions aussi techniques. Le fait d'avoir une grosse commande, ça a permis de faire que les acteurs aient envie de le faire. Ou se disent "Ok c'est rentable de le faire". Par exemple la société qui a concassé le béton a changé ses tamis etc pour avoir les granulats qu'il nous fallait dans le projet. Si on venait avec une commande de 100 tonnes, ça c'est pas possible. Quand on a plusieurs milliers de tonnes, ça commence à être intéressant de changer. Aussi, pour tout ce qui est sur le projet X, sous la partie bureau, on vise plus de 90% des matériaux qui sont certifiés cradle to cradle. Pour faire certifier un matériau cradle to cradle, ça a un certain coût, qui va être justifiable pour un fournisseur uniquement s'il a une grosse commande. Si on lui commande 1000 m<sup>2</sup> de tapis et qu'on lui demande que ce soit cradle to cradle il va pas le faire. Si on lui en commande 50 000, peut-être qu'il va commencer à réfléchir à la question et se dire "Ca vaut la peine". Et donc, on a quelque part cette force de frappe qui permet de faire un peu

changer les choses, mais qui est toujours liée à l'aspect économique. Donc c'est quand même fort différent la façon de faire.

Doctorante : Et du coup vous me dites que vous avez une force de frappe, mais c'est quelque chose qui est motivé, parce que l'aspect économique est lié à l'entrepreneur, est ce qu'il accepte de le faire ou pas, mais chez vous, ça vient d'une motivation économique, ou de respecter des réglementations, ou autre...

R5: (réfléchis) Ca va être les réglementations, ça va être l'aspect économique, de pouvoir vendre ou louer cet immeuble. Aujourd'hui tout le monde communique sur un immeuble vert, si vous entendez autour de vous chaque promoteur fait les immeubles les plus verts du monde. Et on s'inscrit dans cette démarche en essayant que ce soit vrai, et que ce soit pas uniquement de la communication. Il faut se distinguer des autres quelque part. Et... (long blanc) ouais.

58:46 > 1:02:29 [ Pas de thématique]

Doctorante : Ok. Du coup là j'ai fait le tour des questions que j'avais. Je sais pas si vous avez quelque chose à ajouter ? De manière générale ou pas.

R5: On a pas vraiment abordé la question des passeports matériaux dans le BIM je pense. C'est quelque chose qui à mon avis gagne à être développé, mais il y a des trucs qui existent, comme Madaster, comme Upcyclea, qui sont des plateformes qui le permettent. Upcyclea il permet de gérer les matériaux qui sont dans un immeuble et de se dire « Tient ce tapis-là il a 5 ans, mon locataire change, je vais changer le tapis », et de pouvoir trouver sur base d'un système d'intelligence artificielle, de trouver un potentiel repreneur pour ce tapis, que ce soit pour du réemploi, pour du recyclage. Je trouve que c'est quelque chose qui est très intéressant. Maintenant c'est pas tout à fait lié avec le BIM, mais ça devrait l'être. Donc on devrait avoir un modèle BIM qui est mis à jour par une société de maintenance donc par le gestionnaire, et voilà, "je gère mes matériaux, je gère mes techniques dans l'immeuble, sur base d'un seul modèle qui est mis à jour, qui rassemble l'ensemble de l'information, et le jour où je veux changer, je peux facilement trouver l'information qui me permette de retrouver un repreneur". C'est des discussions qu'on avait dans le travail qu'on faisait avec mon collègue, sur l'inventorisation. Alors quand on l'a fait avec mon collègue c'était pas tout à fait lié au BIM, on voulait quelque chose de simple, avec un smartphone, avec une tablette, de pouvoir facilement inventorier les matériaux dans un immeuble, pour des immeubles qui ne seraient pas encore BIM, mais à terme l'idée est quand même que le BIM puisse avoir toutes ces informations tenues à jour dans l'exploitation, pour pouvoir être utilisées plus tard. Aujourd'hui on a par exemple un projet où on a deux chaudières qui vont être..., qui vont plus servir dans un immeuble. Mais on a un autre immeuble où on doit rénover les chaudières. Et on aimerait se dire "On va prendre ces chaudières-là, elles ont dix ans, elles sont encore bonnes, c'est des bonnes chaudières. Pourquoi pas les réutiliser dans le nouveau projet ?" Donc on a demandé au fabricant de la chaudière "Tient on a deux chaudières, est ce que vous vous avez déjà suivi ce genre de projet ?" Et les réponses qu'on a sont "Beh on sait pas comment elle a vécu la chaudière, on sait pas comment garantir dans le futur son fonctionnement". "Parce qu'on a pas les analyses d'eau, on a pas les cycles de démarrage/arrêt de la machine". C'est des informations qu'on pourrait avoir dans un modèle BIM en fait, s'il suivait les installations techniques, que tout soit rassemblé là et dans un monde idéal on clique sur la chaudière et on a tout l'historique. Et ça faciliterait le réemploi de ces machines. Ca va être la même chose pour des poutrelles métalliques, où on aura toute l'information sur les poutrelles, on sait si elles ont été soumises à tel type d'effort, est ce qu'elles ont été soumises à tel type d'incident ? Mais bon c'est un monde idéal. Et pas oublier qu'il y a un gros décalage entre la pratique et la théorie.

1:02:29 > 1:04:35 [Outro]

Doctorante : Du coup je vais vous poser la question dont j'ai parlé en début d'entretien: est ce que vous souhaitez que vos propos soient anonymisés, c'est à dire qu'ils soient associés à un profil par exemple "BIM manager", "architecte", "ingénieur" etc plutôt qu'à votre nom en particulier ?

R5: Ca ça m'est un peu égal, par contre si vous citez des projets de Mon entreprise, alors il faut nous demander. Mais je pense pas qu'il y ait de chose très problématique.

Doctorante : Est-ce que vu les questions auxquelles vous avez répondu, est ce que vous avez éventuellement des contacts pour lesquels vous pensez que leurs réponses pourraient être intéressantes ? De tout type de profil, par exemple vous parliez des archis d'intérieur, ça pourrait m'intéresser. D'avoir un contact. Je sais pas si c'est possible ?

R5: Oui, après chez nous je pense pas qu'ils travaillent directement avec le BIM, du coup ce serait peut-être intéressant...

Doctorante : Merci, c'est gentil.

R5: Je vous en prie.

Doctorante : Bon et bien du coup on aura duré à peu près une heure je pense.

R5: Oui exactement, une heure comme prévu.

00:00 > 02:27 [Introduction]

Doctorante : Voilà je pose ça là.

R6: Juste ça te dérange pas si avant tes questions, tu m'expliques vraiment le contexte de ta thèse, ça fait combien de temps, et tout tes trucs tu vas en faire quoi, c'est pour sortir quelles infos ? Enfin vraiment le contexte de ton travail.

Doctorante : En fait je fais une thèse sur la durabilité des pratiques BIM et là je suis dans ma troisième année, donc je suis plutôt vers la fin puisque c'est entre 3 et 4 ans une thèse en général, voire 6 ça dépend des contrats. C'est une cotutelle entre l'UPHF en France et l'UMons en Belgique. Donc il y a un côté archi à l'UMons et un côté info-com coté français. Et du coup là je suis en train de réaliser des entretiens avec des acteurs de la construction pour pouvoir avoir un retour de ce qu'il se passe réellement dans le monde du travail, dans la pratique, dans les gens qui utilisent le BIM ou qui cotoient ceux qui utilisent le BIM. Et donc voilà, il y a pas de mauvaise réponse ou quoi que ce soit, c'est juste orienté BIM et durabilité. C'est organisé en trois parties, la partie au début c'est le profil, savoir un peu ton parcours, ce que tu as suivi comme formation etc. Pour pouvoir établir un niveau d'expertise BIM et un niveau d'expertise BIM, parce que j'ai des acteurs qui sont très bons en l'un ou l'autre et d'autres qui croisent un peu les deux. Après il y a une partie où je vais te poser des questions sur ce que tu entends par tel ou tel termes pour voir si on a la même définition des choses, et après le cœur du sujet c'est une partie où je fais des croisements BIM et durabilité. Et je te présente les croisements que j'ai déjà trouvés en étudiant la littérature donc c'est des choses qui sont assez théoriques, pour voir si dans la pratique c'est faisable, ça se fait déjà, ça se fait pas encore, enfin voilà.

R6: Ok. Ca va. Moi je suis plus BIM que durabilité donc peut-être que je vais sur certains points "durabilité" avoir un peu du mal mais bon...

Doctorante : Ne pas avoir de réponse est une réponse acceptable. Ca fait partie du truc aussi, de se dire que les gens qui sont experts en BIM ne s'en occupent pas, ou connaissent mais pas plus que ça. Et pareil quand j'interroge des gens dans la durabilité ils me disent "Oui moi le BIM je ne sais pas trop" mais finalement ils ont toujours des choses intéressantes à dire.

R6: Ok

Doctorante : Donc je le répète oralement comme ça c'est enregistré, tu as marqué ton accord pour que l'entretien soit enregistré.

02:27 > 04:26 [Profil]

Doctorante : Du coup la première partie ça concerne ton profil et la question que je me pose c'est quelle formation tu as suivie et combien d'années d'expérience tu as dans la construction, et en particulier dans le BIM ?

R6: Ok. Donc la formation je suis ingénieure civile architecte de l'ULB, donc un master. Durant ces années-là j'ai pas eu de formation initiale BIM, dans les cinq années d'unif il n'y avait pas trop de formation là-dessus. Et en fait tout de suite après je suis arrivée chez Buildwise et tout de suite dans la cellule BIM, et là je suis à ma 6ème année ici, donc ça fait 6 ans que je suis dans cette cellule BIM. Au tout début le sujet premier sur lequel j'ai travaillé c'est les systèmes de classification, je sais pas si.. Donc en gros comment classer, coder les

objets du modèle pour après... pour quels usages quoi. Donc il y a différents systèmes qui existent et qui permettent de faciliter, selon le système que tu utilises pour coder les objets, ça te permet de faire l'un ou l'autre usage plus facilement. Au tout début du projet on code plutôt de manière générique parce que tu ne connais pas encore tout sur l'objet, et plus t'avances plus tu utilises par exemple les codes des cahiers des charges donc comme le CSTB, les spécifications techniques, enfin tu connais les cahiers des charges ?

Doctorante : Superficiellement.

R6: Oui enfin voilà. Donc comment coder les objets du modèle au fur et à mesure du projet pour faire tel ou tel usage tout au long du projet.

Doctorante : Donc toi tu travailles sur ces chartes-là ?

R6: Les deux premières années c'était à fond là-dessus, et puis on animait un groupe de travail là-dessus donc en fait pour réfléchir sur cette thématique on a des groupes de travail avec des externes.

04:26 > 07:01 [ Pas de thématique]

R6: Donc il y a par exemple par groupe 15 externes, des architectes, des entrepreneurs, des bureaux d'études. Donc ça je vais peut-être te montrer. Je vais prendre le temps de te montrer. Où est ce que je vais voir ça ? Je peux ? Ca te dérange pas par rapport à l'enregistrement ?

Doctorante : Oui oui c'est pas grave.

R6: Je vais prendre justement la formation qu'on a donnée l'autre jour. Donc en fait il y a des groupes, ça c'est les groupes actuels, c'est un groupe qui travaille sur les protocoles, donc tu connais les protocoles BIM ?

Doctorante : Oui

R6: Donc protocole, un groupe pour les fournisseurs de matériaux, c'est comment les fournisseurs de matériaux s'inscrivent dans le BIM, comment ils transmettent leurs informations sur les objets qu'ils fournissent en modèles. "Standardisation" ça c'est un groupe sur la normalisation, les normes BIM qui renseignent les membres, sur quelles normes sortent, ça implique quoi pour eux etc. "BIDS" c'est Belgium Information Delivery Specification, c'est un peu les conventions de modélisation. Qu'est ce qui doit être modélisé, à quel niveau de détail, avec quelles infos pour faire quel usage ? Et ça il y a un site, ça va sortir sur un site web parce que les anciennes conventions de formalisation c'est des PDF, je sais pas si t'as vu.

Doctorante : Non je n'ai pas vu mais j'imagine, ça doit pas être...

R6: Oui on avait sorti des PDF qui expliquaient comment doivent être modélisés certains noeuds constructifs quand l'architecte passe son modèle à l'entrepreneur pour que l'entrepreneur ne doive pas tout recommencer, pour qu'un travail puisse être vraiment ... c'est l'intérêt du BIM aussi, que tout le monde ne doive pas recommencer mais que ça puisse être continu. Et donc le PDF il expliquait à ce moment-là "Conception/Execution", le passage de conception à execution, qu'est ce qui doit être modélisé. Donc ça c'est déjà sorti, c'est en ligne, c'est gratuit, c'est les anciennes conventions de modélisation. Et là c'est un peu la suite mais en version site web et plus enrichie. Des fois je vais peut-être trop dans les détails donc tu me couperas. Mais en gros ça c'est les groupes de travail actifs actuellement sur la thématique du BIM, et alors moi j'anime le groupe "Classification" et le groupe "Formation".

07:01 > 11:16 [Profil]

Doctorante : Ok. Et du coup toi dans ton quotidien tu utilises le BIM pour pouvoir élaborer tout ça, ou tu le manipules pas spécialement ?

R6: En fait j'ai eu une expérience là les deux dernières années parce que le bâtiment que tu vois là, il y a un nouveau bâtiment là. On l'a fait dans un processus BIM et je l'ai justement ouvert ici parce que demain on a une réunion là-dessus. Et en fait j'ai suivi la construction de ce bâtiment-là, j'ai suivi toutes les réunions de chantier, toutes les réunions BIM, et j'ai consulté souvent le modèle.

Doctorante : C'est un bâtiment de bureaux c'est ça ?

R6: Non c'est "Démonstration de nouvelles technologies". Donc c'est... au-dessus il y a des bureaux mais en gros c'est pour montrer ce qu'on peut faire avec différentes techno hors BIM et il y a une salle "formation BIM" dans ce bâtiment.

Doctorante : Ok.

R6: Il y a ce bâtiment-ci ici, et il y en a un autre à Zaventem aussi, et on a la camionnette pour montrer les différentes techno sur chantier, sur place. Donc on va dans des écoles des fois avec ça, sur chantier, enfin voilà.

Doctorante : Et avec cette expérience-là est ce qu'il y a des choses qui te sont apparues plus claires ou moins claires par rapport à l'approche que tu avais qui était peut-être plus théorique avant ? Des choses que tu pensais possibles et qui finalement en réalité ne se réalisaient pas comme tu le pensais ?

R6: Par rapport à études versus ce que j'ai découvert en commençant à travailler par exemple ?

Doctorante : Oui ou par rapport au fait que tu étais dans un contexte plus théorique parce que tu développais des chartes et puis après tu es passée à un truc plus pratique en faisant un vrai bâtiment.

R6: En fait je me suis rendue compte qu'il fallait absolument à chaque, enfin un maximum aux réunions, forcer, projeter le modèle BIM en réunions de chantier, parce que sinon si on laisse trop partir les gens sur les plans.. Parce qu'en fait on avait à la fois un architecte qui ne travaillait pas en BIM pour ce chantier, et donc le modeleur c'était un sous-traitant, et donc on avait à la fois l'architecte qui faisait ses plans en AutoCAD et puis le sous-traitant qui modélisait tout et qui rassemblait tous les modèles de tous les corps de métiers, et je me suis rendue compte qu'il fallait vraiment, que c'était difficile au début du projet mais ça s'est amélioré au fur et à mesure, c'était difficile de vraiment utiliser le modèle alors que c'est con, il était là mais il fallait... Au début je m'attendais toujours à ce que l'archi, le modeleur, enfin quelqu'un d'autre l'ouvre, et du coup j'ai pris ce rôle dans les réunions de chantier quand j'ai vu qu'on s'en servait pas tellement. Il faut l'ouvrir, le projeter, parce que sinon parfois il y a encore cette réticence, enfin ces habitudes de projeter des plans alors qu'on a quelque chose d'un peu plus puissant à disposition. Donc ça c'est quelque chose... Voilà vraiment projeter, forcer, projeter le truc et que quelqu'un en réunion soit là pour prendre lead là-dessus, le projeter, s'en servir... Dès qu'on entend une discussion, hop on l'ouvre, on fait une coupe, on regarde, parce que sinon c'est des fois un peu oublié.

Doctorante : Et du coup finalement en le projetant il était utile ?

R6: Oui.

Doctorante : C'est juste que ça venait pas des acteurs eux-mêmes ?

R6: En fait il faut vraiment que quelqu'un prenne le lead et sache juste l'ouvrir dans un viewer, faire des coupes, juste pas... alors que c'est super facile, ceux qui le font rarement vont pas commencer à ouvrir, à prendre le temps de le faire alors que c'est facile.

Doctorante : Ils n'étaient pas à l'aise dedans et du coup ne le faisaient pas.



R6: C'est ça.

Doctorante : Et coté durabilité du coup tu me disais tout à l'heure que tu as pas spécialement cette casquette là c'est ça ?

R6: Oui non j'ai pas trop de...

Doctorante : Ok.

11:16 > 14:19 [Définition des concepts] [Concept architecture durable]

Doctorante : Du coup la deuxième partie c'est qu'est ce qu'on utilise comme définition derrière les mots que j'emploie, et du coup même si tu as pas cette casquette-là je voudrais savoir ce que toi tu entends par le concept d'architecture durable ? Qu'est ce que tu pourrais utiliser comme mots-clés pour définir l'architecture durable ?

R6: (rires) C'est sûr que je vais pas dire tout !

Doctorante : Ne t'inquiète pas, tout le monde me dit ça au début mais finalement ça va.

R6: Donc l'architecture durable... Imaginons dans le cas d'une nouvelle construction qu'on souhaiterait durable, pour moi c'est essayer d'intégrer des éléments à la construction, des matériaux, qui sont respectueux de l'environnement, donc essayer d'intégrer des matériaux par exemple biosourcés ou j'en sais rien. Essayer de voir l'impact de la création du matériaux avant de créer le bâtiment, pour essayer de créer un bâtiment qui a le moins d'impact possible. Et également dans les espaces, enfin peut-être de manière plus philosophique, la durabilité c'est le fait qu'il soit flexible, penser à comment il pourrait évoluer dans le temps, le rendre adaptable pour qu'on doive pas le détruire dans x années, donc modulable, adaptable et aussi imaginer sa déconstruction. L'imaginer afin que sa déconstruction soit plus facile si à un moment il faut le déconstruire. Des noeuds qui pourraient se... penser comment tout pourrait être démonté facilement et réutilisé. Et quoi d'autre ? (réfléchit) Oui peut-être qui englobe un peu tout ce qui est panneau solaire et tout mais ça je sais pas si c'est la même thématique ou pas...

Doctorante : Il y a pas vraiment de mauvaise réponse, c'est plutôt pour voir ce que les gens du métier voient derrière ça, donc il y a pas du tout de mauvaise réponse. De toute façon c'est assez large comme concept la durabilité. Donc du coup tu as déjà cité beaucoup de choses. Mais moi j'ai toujours un coté hyper théorique. Donc pour pouvoir créer ma définition de l'architecture durable je réutilise la définition du développement durable, et du coup je définis ça comme une architecture qui est socialement équitable, écologiquement soutenable et économique viable, du low-tech au high-tech, qui s'organise autour du concept de soutenabilité, et qui met en avant à la fois l'impératif de durabilité des projets dans le temps, donc ça c'est quelque chose dont tu as parlé, et d'acceptabilité sociale et environnementale. Et donc quelque chose dont on a pas parlé ici pour l'instant c'est tout le coté social.

R6: Oui

Doctorante : Mais sinon tu as cité pas mal de mots-clés.

14:19 > 18:05 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM]

Doctorante : Selon toi, par rapport à tout ça, est ce qu'il y a des thématiques en particulier qui sont traitables à travers le BIM pour concevoir une construction durable ? Que ce soient des choses que tu as déjà expérimentées ou que tu imagines qui puissent se faire ou qui pourraient se faire dans un futur proche ou lointain ? En quoi le BIM pourrait être une plus-value pour l'architecture durable ?

R6: Donc déjà les informations... Par exemple on est dans un cas précis où on a un modèle BIM d'un bâtiment qui doit être démonté, par exemple le fait d'avoir les informations sur les objets qui constituent le modèle et qui disent "Il y a x m<sup>2</sup> de carrelage qui va pouvoir être réutilisé", donc les informations sur les matériaux qui pourraient être réutilisés dans le cas de démonter le bâtiment par exemple. Savoir quels matériaux sont dangereux ou pas, toxiques, qui peuvent pas pour une raison ou une autre être réutilisés, ou qu'il faut pour une raison ou une autre faire attention quand on le démonte et qu'on le transporte. Donc l'aspect "info des objets" pour leur réutilisation. La facilitation des inventaires, de ce que contient un bâtiment. Qu'est ce que ça peut être d'autre ? (Réfléchit longuement). Les analyses, donc dans le cadre d'un nouveau projet, pour la performance énergétique, on peut grâce au BIM faciliter la réalisation de plein d'analyses, comme les analyses Performance Énergétique des Bâtiments, déperditions etc, donc grâce aux infos qu'il y a dans les matériaux on peut faire des simulations et donc on peut, grâce aux simulations, améliorer la conception pour que le bâtiment soit le moins énergivore possible. Ou toutes sortes d'analyses en fait. Je sais pas exactement quelles analyses... On pourrait avoir la valeur U des constituants, donc on pourrait faire le PEB. (réfléchit) Je vais juste regarder ça pour me donner peut-être des idées. Toutes les analyses qu'on mettait ici. (lit ses documents) Performance énergétique, acoustique, éclairage (fin de lecture). Oui pourrait aussi faire des analyses de l'impact du bâtiment sur son environnement direct, sur le voisinage. Ca c'est peut-être un peu lié. (lit ses documents) "quantification des déchets pouvant être générés" "Identification des déchets qui peuvent être réutilisés" Oui.

Doctorante : Ok. Tu as autre chose à ajouter ?

R6: Non.

18:05 > 19:51 [Définition des concepts] [BIM et durabilité sociale]

Doctorante : Et du coup est ce que tu connais un peu le concept de durabilité sociale ?

R6: (réfléchit) Non, pas trop mais j'ai l'impression que c'est lié au fait de la flexibilité du bâtiment, son adaptabilité ? Non je ne sais pas.

Doctorante : Durabilité sociale ça peut s'adapter à plein de choses, par forcément le bâtiment. Mais c'est pas évident à définir parce que ça fait appel à beaucoup de valeurs qui sont plus subjectives et abstraites, par exemple le coté... tout à l'heure je parlais de socialement équitable, écologiquement soutenable et économiquement viable. Et bien "économiquement" ça se calcule facilement, "écologiquement" on peut le traduire en valeurs chiffrées aussi justement à travers la PEB, ou les pourcentages de matériaux à réutiliser ou des choses comme ça, et "socialement" c'est plus difficile à quantifier. Mais du coup les mots clés qui ressortent souvent dans les études qui parlent de durabilité sociale c'est le bien-être, la participation, l'accessibilité, les relations humaines, et l'équité. Et la flexibilité du bâtiment peut en faire partie. Et ma recherche elle se centre plus précisément sur ça. Je ne le dis pas en début d'entretien pour ne pas fausser, pour voir si c'est quelque chose qui ressort, parce que ça ne ressort pas souvent en fait la durabilité sociale. C'est ressorti une fois pour l'instant dans tous mes entretiens. Donc c'est pour ça que je le dis pas tout de suite, et pour pas faire peur aussi parce que c'est quand même un peu abstrait.

R6: Tu peux juste répéter tout ce que tu as dit ce que ça englobait ? Pour que j'enregistre bien le concept ?

Doctorante : Oui, de toute façon je vais te donner un support après pour qu'on puisse en parler, mais les mots-clés que je t'ai donnés c'est bien-être, participation, accessibilité, relations humaines et équité. C'est pas du tout exhaustif, ce sont juste des pistes.

19:51 > 21:41 [ Pas de thématique]

Doctorante : Et du coup le travail que j'ai fait pour l'instant, c'est à travers des études qui ont été réalisées, donc à nouveau c'est théorique même si ce sont des études qui se basent sur des faits réels, mais ce sont des résultats d'études théoriques. J'ai pu faire un tableau dans lequel on liste des critères de durabilité sociale, qui sont associés à des possibilités d'interaction avec le BIM. Donc les critères qu'on a repris c'est sécurité, confort des usagers, je vais te donner ce papier juste après, processus d'apprentissage pour les étudiants et les professionnels de la construction, le patrimoine culturel, et après il y a la communication que j'ai scindée en deux parties parce qu'il y a d'une part la communication avec les usagers et la communication entre les acteurs du projet. C'est quand même deux choses assez différentes.

**R6: Oui oui**

Doctorante : Du coup je vais te donner ce document, et on va le parcourir ensemble et l'idée c'est que tu puisses me donner ton avis sur ces usages qui sont proposés dans la deuxième colonne, en essayant d'orienter ta réponse autour du passé, présent, futur. Donc est ce que tu as déjà vu ça, est ce que c'est quelque chose que tu utilises ou que tu projettes dans un présent immédiat, ou est ce que c'est quelque chose qui pourrait se faire dans le futur mais que tu penses qu'on est pas encore capables de le faire maintenant, voir même d'un point de vue idéal, s'il y a des choses qui te viennent pour aller plus loin que ce qui est écrit là, des idées qui te viennent pour faire des liens entre le BIM et ce côté social, tu peux m'en parler aussi, c'est ce qui m'intéresse le plus. Est ce que ça va pour toi ? La question est claire ?

**R6: Oui oui**

Doctorante : On va les passer ensemble, je vais les lire comme ça tu sais les lire mais tu les entends aussi à l'oral. On va d'abord faire sécurité, voir ce qu'il y a dans la colonne d'à côté, et puis on passera au suivant. Et certains plus orientés phase chantier, d'autres plus phase conception, d'autres plus phase exploitation, donc il y a peut-être des choses dans lesquelles tu peux te retrouver plus ou moins mais ça se veut assez global et pas exhaustif.

21:41 > 30:15 [Sécurité]

Doctorante : Donc le premier critère c'est celui de la sécurité. Les différentes possibilités d'interaction avec le BIM qui ont été relevées, c'est d'une part l'utilisation des données des précédents chantiers pour identifier les accidents fréquents. Je sais pas si tu veux qu'on fasse tout le bloc d'un coup et qu'après tu donnes ton avis général, ou qu'on fasse usage par usage ?

**R6: On va faire usage par usage.**

Doctorante : Ok.

**R6: Donc "Utilisation des données des précédents chantiers pour identifier les accidents fréquents". En fait je vois pas... là c'est expérience entre cet usage-là et le BIM, que j'aurais eue, que j'ai, ou que je pourrais voir c'est ça ?**

Doctorante : C'est ça.

**R6: En fait je vois pas avec le BIM. Pas directement mais je vois par exemple avec... enfin ce qui me passe par la tête, c'est pas hyper en lien mais c'est plutôt l'intelligence artificielle qui détecte, qui peut visualiser ce qui se passe sur un chantier et détecter soit pour prévenir genre "Attention cette personne-là n'a pas son casque, j'ai détecté qu'elle n'avait pas son casque". Et relever toutes sortes de choses, donc les flux entrants, les flux sortants des camions, et peut-être voir que les flux, comme on les détecte, que ça ne se passe pas de manière optimale et puis pour améliorer, mais c'est plus des... ce qui me vient en tête avec cette histoire de sécurité c'est plus des caméras qui, de manière intelligente, détectent ce qui va moins bien et pour en tirer des leçons pour la suite, mais c'est pas vraiment lié au BIM.**

Doctorante : C'est des choses qui te parlent parce que tu les as déjà vues ou parce que tu penses que ça pourrait fonctionner ?

R6: Parce que je les ai vues.

Doctorante : Ok.

R6: Mais par contre.. enfin oui ça c'est plutôt « vérification des règles de sécurité ». Pour la vérification des règles de sécurité, comme on peut faire des clash detections entre un modèle HVAC et un modèle stabilité, on peut aussi faire des règles qui permettent de détecter si ça respecte certaines règles de sécurité, si le bâtiment lui-même est conçu de manière à respecter les règles établies, et si on modélise aussi les équipements extérieurs, voir si aussi détecter automatiquement, inclure certaines règles dans des modèles checker et vérifier automatiquement, automatiser la vérification des règles qu'on connaît. Ça ça se fait maintenant. Ça dépend juste de quelles infos sont greffées à quels objets parce qu'il faut pour pouvoir faire ces checks sur base de règles, que les infos nécessaires à l'établissement de ces règles soient bien ancrées dans le modèle.

Doctorante : Après il y a l'estimation du coût des équipements de sécurité, ça c'est plus classique comme usage.

R6: Oui enfin, ça c'est comme tout, c'est ... "estimer les coûts des équipements de sécurité"... Je me dis... si les équipements de sécurité sont modélisés et que à ces objets on associe des coûts, on connaît... enfin je sais pas c'est un peu flou pour moi. Je sais pas en quoi... là le BIM ... c'est juste que si t'as des modèles d'objets d'équipements de sécurité et que tu les mets dans ton modèle, et que t'as le coût qui est dessus, pour le calcul c'est plus rapide que de devoir prendre... enfin je sais pas si c'est plus rapide qu'un excel. Je sais pas c'est un peu... Ca je suis pas sûre que... Parce qu'il faut déjà les modéliser et je crois pas qu'il y en ait beaucoup qui s'amuse à modéliser ça. Enfin je crois pas que c'est la priorité de greffer à son modèle des objets d'équipement de sécurité.

Doctorante : Ok. Après on a le concept de localiser sur le chantier en temps réel des ouvriers et des équipements.

R6: Oui ça c'est plutôt comme ce que je disais à la première.

Doctorante : On aussi l'utilisation des capteurs dans les casques des ouvriers, donc c'est un peu aussi ce dont tu parlais tout à l'heure.

R6: Oui.

Doctorante : Aussi "Visualiser les espaces de sécurité requis pour pouvoir manipuler les équipements", "identification des conflits horaires entre équipes et équipements lourds", ça c'est un peu ce dont tu parlais tout à l'heure, je pense que ça se regroupe un peu, je sais pas si tu es d'accord avec ça ?

R6: Oui

Doctorante : Après il y a aussi un autre volet qui est un peu différent, c'est "la gestion des interventions en cas d'incendie" et "l'entraînement et la formation des usagers à la sécurité". Donc là c'est plutôt en phase d'exploitation alors que jusqu'à présent c'était plutôt en phase chantier.

R6: Oui, là c'est une image un peu futuriste que j'ai mais que... les pompiers... (rires) c'est un peu futuriste cette histoire.

Doctorante : C'est les meilleurs éléments qui sortent à ce moment-là.

R6: Imaginons que les pompiers aient pour des bâtiments publics, évidemment ils vont pas avoir ça pour chaque maison individuelle, mais le modèle à disposition déjà avant un incident pour pouvoir bien le

comprendre et bien le visualiser les trajets, les entrées, les sorties... Tout ce qui est nécessaire à ce que eux sachent pour aider un maximum dans le cadre où un problème arriverait. Donc mieux comprendre le bâtiment avant que l'incendie arrive, comme ça si un jour ça arrive ils savent un peu tous les accès, tous les points d'attention. C'est pour qu'ils soient plus rapides le jour J avec cet entraînement préalable. Enfin cette meilleure compréhension préalable du bâtiment. C'est un peu lié à "entraînement et formation des usagers à la sécurité". Ca c'est plus la réalité virtuelle que j'imagine ici. Que quelqu'un puisse s'entraîner dans un environnement... J'ai entendu des trucs sur les formations de travail en hauteur, tu mets un casque et tu t'imagines vraiment en hauteur, et du coup tu acquiesces certains réflexes sans être vraiment mis en danger. T'es virtuellement confronté à une situation un peu dangereuse pour t'entraîner à cette situation, alors que t'y es pas vraiment.

Doctorante : Est ce qu'il y a un autre élément qui te vient, lié à la sécurité, et pour lequel le BIM pourrait avoir une utilité ?

R6: (se tourne vers son document) Ici c'est pas la sécurité mais c'est les accès PMR, on a une vidéo. Pour vérifier si quand on fait la conception du bâtiment, les distances entre les sorties de secours sont bien respectées etc, on peut faire des checks automatiques de distance, est ce que c'est bien. Lors de la conception ça aide à faire des checks pour vérifier si tout est bien conforme.

Doctorante : Ok. On peut passer au point suivant ?

R6: Oui

30:15 > 37:27 [Confort des usagers]

Doctorante : Le suivant c'est vraiment la partie confort des usagers, c'est plutôt lié à la phase d'exploitation. Par exemple le premier point c'est "la collecte des données liées à l'exploitation du bâtiment". Est ce que ça te parle cette partie-là ?

R6: Oui donc ça c'est les jumeaux numériques, les digital twins. L'idée c'est que le BIM serve à toutes les étapes du projet mais aussi serve après que le projet soit construit, lors de l'exploitation, et si il y a des capteurs par exemple de CO2, ou des capteurs qui détectent si telle salle a été utilisée tel jour, ça peut être repris dans la plateforme de gestion qui peut être liée au jumeau numérique. Ca permet de pas avoir à nettoyer des salles où on est sûrs qu'on n'a pas été, et visuellement voir plus facilement "les salles bleues c'est bon, il faut pas aller les nettoyer". Puis le confort aussi. Plutôt la notion de jumeau numérique.

Doctorante : On propose aussi la simulation de l'éclairage naturel. Je ne sais pas si tu as déjà observé ça ?

R6: Non mais je l'ai vu, je crois (regarde son document). Je le vois ici "analyse de la luminosité naturelle", donc je crois qu'on l'a mis parce qu'on avait vu à l'époque qu'un des outils permettait de faire cette analyse-là, via le BIM. Mais je n'ai jamais vu, et je ne sais plus c'est lequel.

Doctorante : Ok. On a aussi "l'identification des causes d'inconfort liées à l'agencement des espaces".

R6: (réfléchit) Les causes d'inconfort... (réfléchit longuement) C'est pas tout à fait répondre à la question mais en tout cas le fait que le client pourrait non seulement avec le BIM mais encore mieux avec la réalité virtuelle, se promener virtuellement dans le bâtiment avant qu'il soit construit, et donc mieux comprendre ce qui l'attend avant de donner son feedback, avant que ce soit trop tard. Ca ça va limiter ce problème. Ca va limiter les inconforts parce qu'on aura limité les inconforts plus tôt parce qu'il aura mieux compris ce qu'on lui propose, il saura donner plus de feedback. Et ça aura été changé sur la version numérique plutôt que d'être trop tard, ou d'être changé de manière couteuse sur le chantier. Mais pour identifier ça, c'est prévenir que ça arrive plutôt ce que je raconte, enfin empêcher que ça arrive. Une fois que c'est arrivé, identifier les causes, ça je suis pas sûre de bien comprendre, de bien savoir.

Doctorante : C'est clair que pour ce qui concerne la conception, une fois que c'est fait parfois c'est trop tard, ou alors il faut refaire une conception et c'est parfois juste une cloison à abattre ou à refaire, mais si c'est plus compliqué et que le bâtiment est déjà là, c'est vrai que le faire en amont c'est super intéressant. Après c'est peut-être aussi lié au point suivant qui est sur le "monitoring de la production d'électricité et de chauffage" et il n'est pas écrit là mais dans un de mes entretiens précédents on m'a parlé de ventilation aussi. Où le fait d'avoir un contrôle sur ces éléments-là pourrait être un atout pour les usagers.

R6: Oui. C'est lié au fait qu'il y aurait des capteurs, un bâtiment intelligent. Je crois qu'ici aussi c'est lié au concept de smartbuilding et tout ça. Donc le fait d'avoir un maximum de capteurs pour avoir un maximum de données et savoir améliorer les choses sur base de ce qu'on récolte comme informations.

Doctorante : Après on a aussi « l'estimation des coûts liés à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers ».

R6: Oui ça c'est clair que tout ce qui concerne estimer les coûts c'est facilité par le BIM parce qu'on peut extraire des quantités, donc d'un modèle on peut extraire un excel qui reprend les quantités qu'il y a dans ce modèle, et donc déjà ça permet une meilleure rapidité dans l'estimation des coûts, parce que c'est plus facile d'extraire un excel que de commencer à mesurer à la main. Et je crois que c'est plus précis aussi. Oui je crois que c'est juste ça.

Doctorante : Est ce qu'il y a un autre élément lié au confort des usagers ? Qui te vient à l'esprit parce que tu l'as déjà vu ou parce que tu trouverais génial qu'il puisse exister mais qu'il existe pas spécialement encore.

R6: Il y a juste "simulation de l'éclairage naturel", il y a aussi "simulation de l'éclairage artificiel". C'est aussi un confort d'avoir assez de lumière artificielle. Quand il fait trop sombre. Les agencements des espaces, le chauffage, le bruit acoustique, les analyses acoustiques c'est aussi facilité par le BIM. L'acoustique, tout ce qu'on voit, le chauffage, ... Oui l'agencement des espaces c'est peut-être aussi les flux de circulation, c'est lié à ça l'agencement des espaces et les flux de circulation, mais vérifier que les flux soient logiques. (réfléchit longuement) Oui c'est tout.

### 37:27 > 41:32 [Processus d'apprentissage]

Doctorante : Le point suivant c'est les processus d'apprentissage, que ce soit pour les étudiants ou pour les professionnels de la construction. Donc si tu l'as pas expérimenté en tant qu'étudiante ça te parle peut-être pas spécialement mais peut-être que tu vois une application dont tu aurais pu bénéficier en tant qu'étudiante. Là dedans il y a moins d'usages présentés mais c'est majoritairement lié d'une part à la visualisation des espaces, et donc de pouvoir améliorer la compréhension des aménagements des espaces, ne pas juste être sur plan pour comprendre ce qu'il se passe. Et l'autre volet c'est plus apprendre les principes de construction durable. Via des simulations où là du coup en tant qu'apprenant on peut tester plein de choses. Grâce à la maquette 3D et à la base de données, pour faire des simulations, voir "quand j'ai fait ça, voilà l'impact sur ma simulation", "quand je fais cet autre choix, voilà ce qu'il se passe". Donc pouvoir expérimenter des choses grâce au coté virtuel.

R6: Juste d'abord je vais d'abord dire un truc auquel je pense qui n'est pas dans cette liste et qui facilite le processus d'apprentissage, c'est aussi le fait de voir les noeuds constructifs en 3D, comprendre des noeuds constructifs plus facilement grâce au BIM et aussi on voit, avec la réalité virtuelle, "hop j'enlève les couches". Oui et améliorer la compréhension pas seulement de l'aménagement des espaces mais de comment un bâtiment est construit, des phases aussi. Et aussi, une fois que tu t'intéresse au BIM, t'es obligé de comprendre plus le processus d'un projet, donc quels acteurs sont impliqués, quels sont les rôles de quels partenaires de projets,... Parce qu'il y a toute cette histoire de processus, de collaboration... Parce que moi quand je suis sortie de l'école je savais même pas comment... enfin le rôle de l'architecte, le rôle de l'entrepreneur, l'entrepreneur qui demande les offres aux sous-traitants, vraiment exactement comment ça

se passait, comment ça s'enchainait, comment les gens collaboraient, qui devait donner quoi à qui à quel moment du projet... Tout ça permet... Quand tu t'intéresses au BIM, t'es obligé de t'intéresser à ça et tu comprends mieux aussi comment se passe un projet. Et "visualisation des espaces" j'ai rien à redire, évidemment ça facilite, "amélioration de la compréhension des espaces", "apprentissage des principes de construction durable par simulation"... Oui. Et les professionnels...

Doctorante : Là il y a aussi tout l'aspect "professionnels de la construction", car on a quand même beaucoup de professionnels qui sont pas formés au BIM ou à la durabilité, et donc pouvoir utiliser l'un pour mieux former à l'autre, donc pouvoir utiliser le BIM pour mieux former à la durabilité, mais du coup c'est un autre contexte puisque les étudiants sont dans un contexte d'apprentissage permanent où ils ont le temps de tester des choses, alors que les étudiants ils ont parfois un peu moins de temps à accorder à ça.

R6: Oui je crois que c'est surtout pour les simulations énergétiques, c'est le premier truc qui me vient en tête, le BIM amène une facilité pour mieux comprendre tout ce qui est plutôt analyses énergétiques du bâtiment. Si ce matériau-là a cette valeur U-là et celui-là, ils sont mis ensemble et du coup ça fait une bonne couche, et ça fait telle économie d'énergie par rapport à si on zappe cette couche-là par exemple.

41:32 > 43:47 [Patrimoine culturel]

Doctorante : Le point suivant il est plus spécifique parce qu'il touche au patrimoine culturel, je sais pas si t'as déjà eu l'occasion de travailler sur ou autour de bâtiments à valeur patrimoniale, mais du coup ça concerne principalement d'une part la modélisation des bâtiments à différentes époques dans l'idée d'avoir une sorte de bibliothèque numérique de bâtiments historiques, donc ça rejoint peut-être aussi le côté processus d'apprentissage pour pouvoir apprendre ce qui a été fait par le passé. Et après il y a aussi un côté plutôt "surveillance" et "maintenance" des bâtiments, et "entretien". Et aussi du coup réduction des coûts de maintenance puisqu'on peut les calculer à l'avance.

R6: Ici je pense, quand je pense "bâtiment culturel", je pense plutôt "scan 3D", est-ce qu'on est obligés de refaire un modèle BIM précis des bâtiments existants, ou est-ce que faire plutôt un scan, ou de la photogramétrie, qu'est ce qu'il nous faut ? Qu'est ce qu'on veut faire vraiment comme usage avec... je crois que dans la plupart des cas la photogramétrie ou les scans amènent les infos qu'il faut, plus que de devoir mettre beaucoup d'énergie pour tout modéliser. Se promener dans l'environnement photogramétrique je crois que c'est peut-être suffisant pour certains usages liés au patrimoine. Ou si on doit les modéliser, c'est voir ça va servir à quoi, c'est pour quoi exactement. Si il faut les modéliser, si un scan ou une photogramétrie est pas suffisante, c'est pour quoi faire exactement...

Doctorante : Du coup si je reprends ce que tu me disais tout à l'heure, quand tu as travaillé sur le bâtiment qui est ici à côté, c'est un bâtiment neuf mais tu n'as pas eu l'occasion de travailler sur un bâtiment ou de réaliser des documents liés à la rénovation des bâtiments ?

R6: Non

Doctorante : Ok

43:47 > 47:57 [Communication entre les acteurs du projet] [Communication avec les usagers]

Doctorante : Le dernier point qui est scindé en deux, donc c'est la communication d'une part avec les usagers et dans cet aspect-là on a la visualisation partagée des solutions proposées, donc vraiment avoir le support visuel pour pouvoir communiquer, et aussi le côté "intégration de la participation citoyenne", donc avoir un modèle qui est partagé sur lequel les citoyens peuvent pas forcément interagir mais au moins visionner à distance, et peut-être mettre des commentaires pour pouvoir récolter des avis et faire déjà ça en phase de conception.

R6: Oui, il y a aussi tout ce qui est... donc il y a "la visualisation partagée des solutions proposées" mais il y a aussi ce que le BIM permet, enfin le format IFC, c'est de mettre ensemble plusieurs modèles réalisés par plusieurs intervenants du projet et les vérifier, les mettre ensemble pour voir s'il y a des conflits. Donc ça c'est dans l'aspect collaboratif et l'importance des formats ouverts et interopérables, puisque tout le monde utilise pas toujours le même logiciel donc là c'est, quand on parle collaboration et communication, c'est relever l'importance des formats ouverts et de l'IFC pour pouvoir mettre ensemble ce qui vient de logiciels différents. Oui et puis tout ce qui est permis par les viewers, donc les formats VCF, pour envoyer des remarques gratuites, via les viewers gratuits sur ce qui est détecté comme problèmes, et adresser ces remarques à la bonne personne. Dire si elle est urgente, si elle est pas urgente. Puis tout l'aspect des plateformes collaboratives, donc la gestion des modifications, la gestion des versions, être sûr que tout le monde a ... ah oui c'est en lien avec le dernier point en fait ça. "Collaboration améliorée". Etre sûr que tout le monde dispose de la dernière version, faciliter, faire que ce soit clair d'où est la dernière version et qu'elle soit bien mise à disposition de tout le monde...

Doctorante : Oui, donc là effectivement c'est plus dans la collaboration entre les acteurs du projet, mais de toute façon on peut passer à ce point-là il n'y a pas de problème. Parce que les deux se ressemblent, ça reste de la communication mais la destination est différente. Et du côté usagers on peut pas leur demander d'avoir une manipulation qui va plus loin que le commentaire, alors qu'entre les acteurs du projet c'est un peu différent. Donc là c'est assez succinct ce qui est écrit mais c'est principalement "recensement des échanges liés au projet" et "collaboration améliorée" donc ça peut vouloir dire plein de choses.

R6: Oui l'historique des décisions et tout ce qui est permis par les plateformes collaboratives. Tout l'historique qui reste accessible.

Doctorante : Est ce qu'il y a quelque chose que tu veux rajouter sur un de ces deux points-là ?

R6: Non c'est juste l'importance... enfin ça c'est parce je suis un peu... Ce sur quoi on travaille. C'est l'importance que pour que la collaboration et la communication se passent bien c'est de définir les règles du jeu et qui doit communiquer quoi à qui, quand, pourquoi. L'importance des protocoles d'échanges, de définir les règles du jeu et de lister les tâches de chacun et comment ça doit marcher. Parce que si c'est pas expliqué, ça peut pas marcher. L'importance de définir tout ça. Voilà c'est tout.

47:57 > 50:52 [BIM et durabilité sociale]

Doctorante : Dans ce qu'on a cité-là, il y a certaines choses qui sont parfois un peu plus subjectives, comme par exemple la simulation de l'éclairage naturel, même si on le simule après pouvoir évaluer s'il est bien ou pas bien, ça peut dépendre d'une personne à l'autre. Qu'est ce que tu penses de cette confrontation entre certains de ces critères qui sont plus difficiles à quantifier, alors que le BIM à la base est plutôt fait pour utiliser des données mesurables et quantifiables, et les optimiser. Est ce que tu penses que c'est incompatible, ou est ce que ça peut quand même être un outil ? Parmi d'autres peut-être.

R6: Je pense pas que c'est incompatible mais tout n'est pas une science exacte, même si c'est BIM, parce que il y a l'humain là-dedans, donc de manière générale le BIM c'est pas en mode "c'est une technologie fiable à 100%", c'est juste un support et on discute, et il y a toujours toutes les interactions. Mais je sais pas si c'était vraiment ça la question mais... je crois que c'est un support, tout va pas te sortir en un rapport et te dire tout ce que tu dois faire. C'est un support pour discuter quoi. C'est pas comme si il allait détecter tout seul les clashes et les résoudre tout seul. Non, ça nous pointe des trucs ensuite en réunion les acteurs doivent les résoudre quand même. Tout reste un peu... le rôle de l'humain est tout autant important. Si ça donne une idée de l'éclairage naturel mais que...Enfin oui.

Doctorante : Et donc est ce que tu penses, c'est un peu lié à ça, mais que le fait d'utiliser... en général quand on utilise un outil ou un autre il y a des biais qui se créent à travers l'utilisation qu'on fait de l'outil. Est ce que



le fait de naviguer en permanence entre ces concepts de banque de données, d'informations etc, peut finir par faire oublier ce côté social du bâtiment ? Parce qu'on se retrouverait un peu contraint par les chiffres qqpart ?

R6: Oh je ne crois pas. Pour moi clairement non.

Doctorante : Ok. Parce que du coup ça reste l'humain qui prend la décision ?

R6: Oui oui, je crois que c'est un support, pour faciliter les discussions entre humains et faciliter la prise de décision de l'humain mais ça pourra pas être plus que ça.

Doctorante : Ok.

50:52 > 52:34 [Communication entre les acteurs du projet]

Doctorante : Est ce que tu as quelque chose à ajouter sur tout ce dont on vient de parler ?

R6: Non, je regarde juste si dans les grands critères il n'y a pas quelque chose qui manquerait comme grand critère qui ne serait pas là. "Sécurité", "confort", apprentissage", "patrimoine", "communication",... Non. Juste que, enfin c'est lié à la communication mais je crois qu'il y aura moins de conflits et de problèmes légaux. Que juste le fait la communication et la collaboration sera améliorée, ça limite les conflits, les malentendus, les disputes. Je crois que ça favorise juste que tout le monde se retrouve plus content à la fin. Plus satisfait de ce qui a été fait parce que tout le monde a compris ce qui a été fait plus tôt et a mieux discuté tout au long et je crois que ça limite les conflits.

Doctorante : Ca favorise donc les échanges ?

R6: Ca favorise les échanges et en favorisant les échanges je crois que ça limite les conflits. Oui.

Doctorante : Ok.

00:20 > 01:22 [Introduction]

Doctorante : Je vais faire mon petit speech habituel, comme ça on part sur la même base. Merci d'avoir accepté de participer à cette enquête. Comme je viens de te le dire l'entretien est enregistré, et c'est prévu pour durer à peu près une heure, mais ça dépend d'une personne à l'autre, certains finissent avant une heure, d'autres prennent un peu plus. Mais en général en moyenne c'est une heure. Si tu as besoin tu peux évidemment mettre fin à l'entretien à n'importe quel moment pour n'importe quelle raison. L'entretien va traiter des thématiques de la durabilité dans les pratiques BIM. Même si tu n'utilises pas le BIM ce n'est pas très grave, ça fait partie de ton profil, mais on ciblera ton profil après. Donc c'est organisé en trois parties: la première partie va permettre de situer ton profil par rapport à la durabilité et par rapport au BIM. La deuxième partie elle va servir à vérifier qu'on a la même définition des concepts que j'utilise, et la dernière partie va questionner tes habitudes par rapport à la durabilité ou aux pratiques en fonction de comment tu te situes en termes de profil.

01:22 > 14:10 [Profil]

Doctorante : La première question que j'ai à te poser c'est qu'est ce que tu as suivi comme formation, et combien d'années d'expériences tu as dans le milieu de la construction ?

R7: J'ai fait l'architecture, j'ai fait mon bachelier à Lambert-Lombard, c'était pas encore la faculté d'architecture de Liège, c'était Lambert-Lombard qui faisait partie de l'Unif, puis j'ai fait un erasmus de un an à Grenade et puis j'ai terminé, à ce moment-là mon master était devenu universitaire, donc en fac d'archi. Faculté de Liège en option paysage et urbanisme. Plus à grande échelle. Après j'ai fait différents types de formations, dont des trucs comme Rhino, j'ai fait d'autres formations de programmes de dessin, de design thinking plusieurs fois et j'ai également fait deux ans en cours du soir en anticaria. J'ai un diplôme d'anticariat. Voilà un peu mon parcours et donc j'ai été diplômé en 2011 je pense, donc ça fait plus d'une dizaine d'années maintenant.

Doctorante : Et est-ce que t'as suivi des formations axées particulièrement sur la durabilité ou c'est quelque chose qui est venu naturellement ?

R7: J'ai pas suivi particulièrement quelque chose, c'est plus des conférences et des choses comme ça. Même ROTOR, je les ai eus au tout début. Michael Guillot, qui fait partie de ROTOR, faisait une partie de recherches à Saint-Luc Architecture, et donc je l'ai entendu durant sa première année de recherches, donc c'est il y a très longtemps, je pense qu'on parle d'un truc en 2008, donc vraiment aux prémices de ROTOR, et puis j'avais même postulé chez eux en revenant après. Parce que j'ai eu une bourse Léonardo, je suis parti à Paris, puis je suis revenu à Bruxelles et là je voulais changer et j'ai postulé chez eux mais ils n'engageaient personne à ce moment-là. Donc oui on parle d'un truc en 2012 je pense, un truc comme ça. ROTOR commençait à émerger et on commençait à parler de ROTOR donc c'était quand même vraiment le début. Puis des bouquins, beaucoup de lectures par rapport à ça, pas mal de conférences sur ces sujets-là, mais pas de formation particulière là-dessus.

Doctorante : Et côté BIM est-ce que tu as une manipulation de BIM, est-ce que t'as déjà un peu utilisé ou pas vraiment ?

R7: Moi j'ai été formé à l'école sur Archicad mais à Paris j'ai vraiment pas fait de BIM, on faisait du concours, de la recherche en paysage, donc même très basique, du 2D. Et après à Bruxelles j'ai travaillé chez Art&Build,

un gros bureau, où eux-aussi étaient dans les premiers à utiliser du BIM en Revit, parce qu'ils faisaient beaucoup d'hôpitaux et donc c'était assez intéressant. J'ai travaillé sur des modèles Revit de BIM, mais sur des petites salles d'opération très particulières, parce que ça c'était un peu en complément quand on était entre deux concours, parce que j'ai travaillé un an à la cellule "Concours", donc conception, et donc là aussi on utilisait pas de BIM, même eux n'utilisaient pas de BIM. Dans la cellule "Concours, appel d'offre" etc, par contre il y avait un maquettiste à temps plein, donc tu vois c'était très à l'ancienne. Mais pareil là on est en 2012-2013. Puis après par la suite on a travaillé sur un projet à deux bureaux, avec un autre bureau d'archi qui s'appelle Triangulum, qui est un plus petit bureau, et aussi un autre bureau qui s'appelle Quadrilatère à Huy. Et là c'était un genre de BIM Archicad parce que les deux bureaux travaillaient chacun sur une partie, et donc il y avait des parties qui étaient bloquées et là j'ai également travaillé sur Archicad mais là j'étais beaucoup plus à l'aise puisque j'avais appris là-dessus. Et ça j'ai toujours bien aimé Archicad et j'ai très vite dessiné en 3D. Et on avait des partages, mais est ce qu'on avait tous les partages ? La stab était en BIM et les TS n'étaient pas en BIM. Moi ce côté "dessin 3D", quand j'ai rendu mon projet de fin d'année en 2011 j'ai pas rendu de plans, j'ai rendu une vidéo pour mon projet de fin d'année. Donc oui un peu plus déjà d'accroche vers ce mode de présentation, ces modes de dessins, d'expérimenter plus vite, mais on est plus proche du 3D que du BIM.

Doctorante : Ok. En fait là je t'interroge toi en tant que personne qui a un parcours, donc pas spécialement sur ta start-up, mais par contre du coup est ce que dans ta start-up vous utilisez un système de banques de données qui pourrait s'apparenter ou s'intégrer dans un logiciel BIM ?

R7: C'est marrant parce que nous on a déjà eu des réflexions avec un mec, mon collègue, je l'ai encore en call demain, c'est un des mecs qui a fait un inventaire BIM et donc il a scanné tout en nuage de points et il a commencé à faire des inventaires là-dessus, et on est en train de regarder pour travailler avec eux. On saura travailler avec eux pour avoir des contrats avec des villes, pour se dire on fait un inventaire du parc immobilier qui va être rénové dans les dix prochaines années, comme ça on a déjà les datas numériques de tout ça, on a déjà l'inventaire de tout ça. Eux savent sortir des données, donc des quantités, des cubages, des choses comme ça, d'identification suite à un relevé de nuage de points, parce qu'il remodélisent principalement dans Archicad en utilisant des zones, mais il y a pas d'identification, il y a pas de choses sur site et surtout leurs datas c'est de l'Excel, et nous du coup on utilise ce qu'on appelle un genre de banque de données digitale des matériaux, on appelait ça BDM à un moment ou un SIM, un Site Inventory Management, je sais pas quel nom on lui donne mais nous le principe à Ma start-up c'était de pouvoir se dire "Si on a beaucoup de data, on les regroupe, on les trie". Et il y a des datas qui viennent de différents endroits donc si on a une partie des datas qui viennent de maquettes BIM ou de 3D ou de plans, qu'on doit intégrer de l'Excel là-dedans, on a pas mal de traducteurs qui nous permettent d'intégrer de la data. Donc l'idée de Ma start-up c'est de centraliser quelque chose, avoir un système d'inventorisation sur site, qui est sur tablette et qui est un outil digital. Et avoir en complément des données qui viennent, parce qu'il y a des choses qu'on a pas besoin d'être sur site, être sur site des fois c'est dangereux pour certains trucs qui sont à moitié démolis, qu'on a déjà été visiter. Moins on est sur site mieux c'est mais par contre il y a des choses où il faut être sur site, et tout le reste c'est se dire "Ca vient des plans, de la maquette 3D, d'un relevé de nuage de points", d'un relevé photogramétrique, on en a déjà eu aussi, de dollhouse, on a déjà eu aussi, de type Matterport. Ca c'est l'idée. Et suite à la fois où on s'est vu la dernière fois on a eu pas mal d'échanges pour voir à quel point ce serait facile ou pas facile d'avoir des datas qui viennent de chez eux et comment on pourrait les importer. Ca paraît assez simple par rapport à notre outil de management, mais on s'est arrêté à un outil de management et on se rend compte que l'interaction avec les personnes à qui on le présente, on a besoin d'avoir une interaction des datas, un groupement, de montrer des solutions, de pouvoir les mettre dans un stock ou dans un autre stock et d'arriver à visualiser ce que ça impacte si un matériau passe de "je le réutilise" ou "je le réemploie" ou "je le recycle" ou "hors site", "sur site", le CO2 que ça engendre, le coût que ça engendre ou que ça fait gagner... Et donc il y a tout une partie interaction et ça on va notamment le développer avec digital wallonia et il y a aussi toute cette diffusion de la data, parce que c'est beau d'inventorier mais

nous on a pas envie de faire un xième papier qui sert à rien et donc c'est pouvoir diffuser, réserver, donner éventuellement des matériaux parce que c'était le but de ma start-up, de faire circuler l'information qui permettra de faire circuler la matière et donc d'éviter le tout-container. En gros pour résumer c'est ça. Je sais pas si je réponds tout à fait à ta question, donc oui le BIM est chez nous mais c'est pas notre cheval de bataille de base parce qu'il y a des gens qui en font très bien. Nous on essaie simplement de savoir si on a des choses BIM, on arrive à les intégrer. La réponse est oui, ça va devoir passer par des adaptations mais c'est assez facile quand t'as un export en CSV ou XLS, ou peu importe, de dire telle colonne correspond à telle colonne chez nous, et donc t'as des import-export automatiques. Je dis pas qu'il faut le faire 26 fois et rajouter des couches mais ça peut être des choses qui nourrissent, on a des datas qui viennent d'ailleurs et qui sont recentralisées dans un programme qui permet d'exploiter les données, de les diffuser, de les regrouper, de les visualiser, de les faire comprendre aux gens aussi, ne pas avoir un inventaire illisible. Nous ça c'est notre but. Donc oui au niveau du BIM voilà, voilà où en est notre développement, c'est assez... pas hyper avancé.

Doctorante : Et du coup si je reviens sur ton profil à toi, si je peux résumer tu n'as pas eu de formation certificative dans la durabilité mais tu t'es formé en autodidacte à travers des lectures des conférences etc

R7: C'est ça

Doctorante : Et côté numérique tu as quand même une affinité particulière avec le numérique, mais tu n'as pas l'air d'estimer que tu es vraiment formé en BIM, même si tu en as quand même utilisé à une époque mais j'ai l'impression que tu n'as pas l'impression d'avoir fait du BIM à fond, si je résume.

R7: Oui c'est ça, mais il y a des choses qu'on a déjà utilisées, en restauration on a utilisé la photogrammétrie de nuages de points, pour justement aller voir ce qui était abîmé, ce qu'on devait remplacer sur des monuments un peu plus historiques. Qui nous on permis de faire des maquettes, qui nous ont permis de travailler en 3D, d'être hyper précis sur des quantités, mais ça a toujours été des outils. Moi j'ai l'impression que travailler en BIM c'est dès le départ t'as ton relevé, tu utilises une maquette 3D qui est la même pour tout le monde, tu collabores avec tout le monde et ça fait tout ton DIU et tu modifies tes plans en exécution, et tu te retrouve avec un beau dossier à la fin où chaque fiche technique est quasi reliée à un truc en ligne, enfin un truc en 3D. Tout ça moi je l'ai jamais vu. Et alors il y a la partie, je dois mettre mes casquettes différentes, il y a la partie "Ateliers de l'avenir" où je fais de la recherche et développement, où là j'expérimente un programme qui s'appelle Cadwork, qui est un des plus gros programme en ossature bois. Qui permet d'envoyer, de dessiner numériquement puis d'envoyer des listes de bois, qui paramètre du bois, qui essaye de maximiser les longueurs de bois en fonction de tes découpes et de tes assemblages. Si t'as 18 caissons à faire, effectivement si le bois du caisson A et le bois du caisson 18 se mettraient bien sur un bois de 13 mètres mais c'est aussi dire "Ok on va prévoir des packages par 4 ou 5 caissons pour pas se retrouver avec des bois dans tous les sens". Et puis après tout l'assemblage, et également des maquettes, enfin des relevés numériques qui avaient été faits, ça j'avais donné une conférence là-dessus chez Embuild. Sur le côté, comment réintégrer de l'ossature bois en préfabriqué dans la rénovation, et on a eu tout type de relevés, donc on a eu des relevés de bêtes de géomètre qui va te faire un truc, des fois pas de relevé ou tu pars sur des plans existants où tu vas réaccrocher des caissons en rénovation énergétique, ou tu vas réhabiliter une structure, jusqu'à des choses où c'était très poussé, on avait des BIM hyper détaillés où la stab et les TS travaillaient dessus. Mais c'était des BIM qui malheureusement étaient pas assez précis pour de la préfabrication de bois en rénovation énergétique, parce que quand c'est 89° pour la stabilité c'est 90°. Quand c'est 89° dans l'ossature bois ça fait beaucoup de millimètres et beaucoup de millimètres c'est des caissons qui s'emboîtent pas quoi. Donc j'avais donné tout ça, enfin je veux bien te l'envoyer avec plaisir tout ça, et c'était un peu en fonction des différents projets, à différentes échelles, à différentes distances parce que c'est toujours plus facile d'avoir, quand on a un projet à Anvers ou des trucs comme ça, de pouvoir travailler chez nous et vu qu'il redessine tout en 3D et qu'on produit, qu'on numérise, que tout est découpé à la machine numérique, que tout est assemblé, équerrisé, et que ça repasse sur un pont... Voilà, il y avait à boire et à manger donc je me considère pas dans le BIM parce que j'ai jamais eu une expérience probante où j'ai

travaillé de A à Z dessus, où je me dis "Ok là je sais le faire". Sur Rhino j'ai pas mal travaillé mais jamais sur Grasshopper. Il faudrait déjà travailler sur du Grasshopper et avoir fait une maquette BIM en recherche avec de la TS et de la stab, jusqu'au bout, depuis la conception jusqu'à l'exécution, où là je pourrais dire "Allez, j'ai une bonne expérience", mais là non ça n'a jamais été le cas, ça a juste été des épisodes ou des expériences particulières.

14:10 > 17:41 [Définition des concepts] [Concept architecture durable]

Doctorante : Ok. Du coup je vais passer à la deuxième partie qui concerne les définitions des concepts que j'utilise, et du coup ma première question c'est.. enfin c'est vaste tu n'es pas obligé de répondre par des... ça peut être des mots-clés si ça t'aide. Mais donc comment tu définirais l'architecture durable ? Qu'est ce qui te vient en premier lieu comme critère pour dire "Ce bâtiment il est durable" ou pas ?

R7: Pour moi... Une durabilité c'est un bâtiment qui peut continuer à répondre aux besoins de ses utilisateurs dans le temps. Ca c'est pour moi une vraie durabilité. Et s'il ne répond plus, de pouvoir récupérer l'entièreté des matériaux pour qu'ils repartent dans un autre, on dit "cycle de vie", mais moi j'aime pas trop le côté "cycle de vie", c'est plus "cycle d'utilisation" je trouve ça plus cohérent. Parce qu'il y a pas vraiment de fin de vie ou d'obsolescence programmée sur des matériaux. Si on parle d'un côté, tant sur le côté matériaux que sur la conception... c'est un peu oui, ce qu'on avait pu échanger. Et c'est pour ça que toute la partie "logement évolutif" est adaptable au niveau des principes comme CIMEDE aux Ateliers de l'avenir ou Wallspit, des trucs sur lesquels j'ai pu travailler, ça permet une certaine flexibilité dans l'adaptation d'un bâtiment parce qu'il change de fonction, ou d'utilisateur ou de nombre d'utilisateurs, ou il se raccroche à un autre truc, il faut plus ou moins de lumière, ou un autre truc... Et donc c'est ça pour moi un bâtiment durable, qui fait qu'on va pas le démolir dans un court laps de temps. Que sa durée va être la plus longue possible. Parce que durabilité englobe tout le côté écologique, économie dans un sens "économie d'énergie", économie de moyen", "économie d'homme", "économie de transport" quand c'est pas des matériaux que tu fais venir de l'autre bout de la planète. Et la durabilité prend le côté "économie de basse énergie" mais tant basse énergie de production de matériaux que de consommation au sein du bâtiment. C'est pas pour ça qu'on doit surisoler des bâtiments mais le côté thermique doit être réfléchi correctement, avec des inerties, avec certains types de matériaux qui rafraichissent... c'est pas nécessairement un truc qui est blindé de TS avec des ventilations dans tous les sens. Tout ce qui est un peu slow, lowtech, comme des free cooling et des choses comme ça, moi je suis assez pour, avec des énormes murs d'argile et des énormes trucs d'inertie thermique. Donc voilà la durabilité c'est pas nécessairement un truc à la pointe, c'est un truc qui réfléchi correctement en fonction de l'orientation, qui peut avoir une forme de flexibilité dans le temps et dont les matériaux ont un côté durable comme je le définissais.

Doctorante : Du coup la définition que moi j'utilise dans ma recherche, pour essayer de rester le plus global possible et intégrer un maximum de choses, c'est je considère l'architecture durable comme une architecture qui est socialement équitable, écologiquement soutenable et économique viable, donc ça c'est basé sur la définition du développement durable, du low tech dont tu parlais à l'instant, au high tech, et qui s'organise autour des concepts de soutenabilité qui met à la fois l'impératif de durabilité des projets dans le temps, tu en as parlé aussi, et celui d'acceptabilité sociale et environnementale. Donc je pense qu'on est plutôt d'accord sur la définition.

R7: Oui

17:50 > 25:27 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM]

Doctorante : Et sur les thématiques qu'on vient de citer, est ce qu'il y en a qui te semblent particulièrement adaptées pour être traitées via le BIM, ou via le numérique au sens large ?

R7: (réfléchis) Moi il y a juste un truc où je suis moins à l'aise, c'est le côté paramétrique et BIM, tu fais pas de lien entre les deux c'est ça ?

Doctorante : Moi je travaille pas spécialement sur le paramétrique, c'est plutôt axé BIM.

R7: Je pense que c'est moi qui dans mon expérience ou ma définition qui mélange des fois un peu les deux, parce que par exemple si on fait du paramétrique, pour moi on va faire du BIM. J'aurais tendance à dire au niveau des.. c'est vraiment au niveau des outils pour une durabilité, des bâtiments durable c'est ça toi ta question ?

Doctorante : Oui. En fait quelque part est ce que le BIM peut être une plus-value pour concevoir un bâtiment durable. Et si oui à travers le traitement de quel type de thématique ? Et du coup si tu veux que je redéfinisse comment moi je considère le BIM, je vois ça comme une association de trois concepts, c'est à dire la maquette numérique, la banque de données, et la collaboration. Et donc il y a différents niveaux de BIM, il y a des BIM qui sont hyper poussés comme tu en parlais tout à l'heure où la maquette est faite de A à Z dans un logiciel BIM, où tout le monde a travaillé dessus depuis le début, mais après parfois il y a des niveaux de BIM qui sont moins avancés que ça, et d'ailleurs c'est assez courant que chacun fasse sa maquette dans son coin et que finalement il y a pas vraiment ... la collaboration est là mais elle est vraiment assez faible. C'est quand même du BIM , c'est une sorte de premier niveau de BIM.

R7: Ok ça va. Dans la conception, je trouve pour qu'il y ait un côté durable il faut que les espaces soient bien pensés. Alors est-ce qu'on a la prétention que notre cerveau humain va pouvoir imaginer tous les scénarii possible pour imaginer toutes les contraintes données, c'est un peu ça ma question du paramétrique, j'ai l'impression qu'on va tendre vers "donner des contraintes", des plus, des moins, des max, des minimums qui vont donner des scénarii et puis là il y a le cerveau humain qui va entrer en jeu pour pouvoir choisir la solution la plus adaptable en fonction d'une certaine orientation, mais ça aussi il y a un côté paramétrique qui peut aider. Pour profiter au maximum des apports du terrain qu'on pourrait avoir, ou du sol ou voilà. Donc ça c'est une série de contraintes qu'on va mettre l'une après l'autre, un peu comme un problème de mathématique, on va avoir "des" solutions et dans ces solutions effectivement il y a un côté expérience, d'avoir expérimenté certains matériaux... Il y a des choses comme la..., ça c'est un des exemples mais le côté "confort thermique" est moins calculable et donc c'est pour moi une expérience en tant qu'Homme et pas un calcul PEB qui peut le résoudre. Donc ces outils-là au niveau de la conception je trouve ça très intéressant pour se dire qu'on a évoqué toutes les pistes possibles. Et nous quand on créait, qu'on faisait de la conception, j'étais toujours pour le fait de dire "on va très très loin dans un concept même s'il paraît complètement fou" parce que des fois ça décroche des solutions qui vont nourrir une autre partie du projet. Et donc pouvoir expérimenter toutes ces solutions, j'ai l'impression que l'être humain ne sait pas y arriver tout seul et que maintenant il y a des outils qui sont chouettes par rapport à ça. Mais on s'écarte un peu du BIM. Par rapport au BIM je trouve que dans la conception ça permet de construire un bâtiment, quand on dessine sur Archicad ou qu'on dessine sur des programmes de 3D, c'est un peu comme si on empilait des blocs, donc on voit très vite ce qui s'empile pas, ce qui s'aligne pas, ce qui est problématique, on a un trou, pas un trou, donc ça permet d'éviter beaucoup d'erreurs. Et ça permet également d'avoir une perception des lieux, parce qu'il y a une grosse problématique dans la conception des bâtiments à l'heure actuelle et qui fait que pour moi il y a des choses qui sont pas "durable", c'est parce qu'elles ont pas été bien pensées, et pour bien... toutes les pièces et tous les lieux se ressemblent et on crée plus de lieux, et donc pas créer un lieu automatiquement c'est quelque chose qui va peut-être pas fonctionner ou qui va pas prendre et donc on aura... Et donc arriver à la voir en 3D, pouvoir voyager dans le bâtiment, pouvoir percevoir la sensation que ça va pouvoir donner d'un tel espace ou d'une hauteur, est ce qu'on a une sensation d'inconfort parce que c'est trop étroit etc... Donc oui dans cette aide à la conception, je crée un lieu, si c'est un lieu d'accueil, d'un logement communautaire, cette salle communautaire ou cette salle d'accueil elle doit avoir un esprit "accueil", c'est pas parce qu'on va mettre un cube blanc avec un plafond de 2m40 que ça va être quelque chose d'agréable. Donc oui je pense que ça peut aider dans ce côté "créer des lieux de vie" et ça c'est une des grosses parties qui s'est perdue dans l'éducation

au niveau architectural, c'est de créer des lieux, on a l'impression de créer des trucs où tout le monde fait la même chose et il suffit de poser la question à des gens qui font des études PEB ou certificats PEB, toute la journée ils voient exactement les mêmes finitions, exactement les mêmes bâtiments et exactement les mêmes apparts donc on est arrivé dans un truc où oui... de standardisation ou de mondialisation de l'espace qui n'a plus de vie, et pourtant c'est là-dedans qu'on doit en faire. Donc pour moi c'est pas des choses qui vont être pérennes parce que c'est pas possible que tous les mêmes bâtiments satisfassent tout le temps, puissent satisfaire à tous les besoins. Et après dans le côté d'avoir quelque chose qui est durable, si on arrive à intégrer des techniques, de la stabilité, arriver à avoir des datas sur des réactions thermiques de bâtiments, pouvoir faire des études... On en a fait une d'ailleurs, on avait tenté de faire une étude avec le bureau d'études Lemaire sur comment un bâtiment pouvait réagir au niveau de ses apports solaires... Vraiment une vraie étude assez poussée sur... "est ce qu'un free cooling pourrait résoudre les surchauffes au niveau de l'été avec ces grandes baies vitrées-là ?" Oui tout ça c'est une maquette et c'est du BIM qui peut pouvoir le faire. Après il y a aussi toute une question de... c'est pareil que l'étude des lieux, c'est l'étude des flux donc il y a des flux entrant et des flux sortant, surtout quand c'est des bâtiments publics ou semi-publics/semi-privés, ou des bâtiments communautaires. Ou des grands ensembles. Il va y avoir des flux, il va y avoir du passage et ça permet de générer des flux et des passages et de voir vraiment ce que ça représente aux heures de pointes. Et ça on peut en parler aussi au niveau de la mobilité, des espaces publics. Et donc là on est plus sur un côté social de pouvoir, si on arrive pas avec l'expérience de savoir que cet espace va être un espace de rencontre, ou que cet espace est un espace de contraction où personne ne va pouvoir passer, où ça va créer un espace insécuritaire. Ou ainsi de suite, quand deux immeubles sont trop proches, ou des couloirs sont trop étroits et pas assez clairs. Je pense qu'effectivement la maquette BIM peut visualiser, permet d'avoir une conscientisation un peu plus de ça. Voilà pour le côté durabilité. Et après il y a tout le côté logement évolutif qui peut entrer en jeu, donc pouvoir se dire qu'avec une maquette BIM, un peu comme le côté paramétrique, on peut pouvoir prévoir des scénarii différents et se dire que le bâtiment a déjà trois scénarii réfléchis en se disant "Si ça ne fonctionne pas comme ça ce mur-là a été pensé pour pouvoir l'abattre et pouvoir faire une double salle" ou "Ces deux apparts peuvent se transformer en un seul gros appart ou un logement kangourou" et ainsi de suite. Ca c'est pas des choses qu'on peut faire en 2D ou qu'on peut faire sur papier, donc oui les maquettes collaboratives ou... déjà réfléchir "Ok ça fait un appart mais qu'est ce qui se passe avec la grosse conduite de ventilation qui passe au milieu" C'est un peu, je vais faire le lien avec Ma start-up mais c'est transmettre les informations, que tout le monde soit au courant de tout, et donc effectivement on a moins d'erreurs qui se passent, ou on a plus de possibilités, ou d'arguments, pour pouvoir faire évoluer ce bâtiment, et donc pour moi qu'il soit durable. Il faut que je fasse des plus courtes réponses autrement on va être encore là demain (rires) .

25:27 > 37:20 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale]

Doctorante : Donc là on est dans ma deuxième partie, j'ai plus qu'une question dans cette deuxième partie-là, est ce que tu connais le concept de durabilité sociale, et qu'est ce que tu utilises comme mot-clé pour le définir. En fait qu'est ce que ça t'évoque la durabilité sociale en architecture ?

R7: Là je crois que tu vois par contre on arrête mon domaine de compétences parce qu'il y a des gens qui sont plus doués que ça, plus doués sur ces sujets-là que moi. Moi la seule expérience un peu que j'ai, il y a le côté "social", je travaille dans une entreprise "sociale" et on réfléchit les bâtiments pour des personnes handicapées ou malentendantes, mais ça c'est le côté "social" un peu péjoratif du côté "social" qui est pas le côté "sociétal/social". C'est une tranche de la population qui est pas représentative et je pense que c'est pas ça que tu veux dire. Après il y a le côté de "durabilité sociale", beh ma compagne qui fait quand même de la recherche sur le Caire, dans des grands ensembles, dans des exemples assez concrets, où elle me parle de ses conférences, je les ai écoutées, j'ai lu ses papiers. Et donc j'ai l'impression que ça se rapproche plus de ça... durabilité sociale moi je le mets dans ces cases-là et donc c'est un sujet que je vais peut-être moins... mais c'est peut-être moi qui arrive peut-être pas bien à la définir. Donc voilà je ne sais pas.

Doctorante : En fait là pour l'instant j'ai été interrogé par mal de personnes et personne ne se sent compétent pour répondre à cette question. Si ça peut te rassurer.

R7: Ah ouais ? Cool.

Doctorante : C'est quelque chose, certains se disent "Ben ouais en fait je me suis jamais posé la question", et d'autres me disent "Tout le monde sait ce que c'est" mais après ils savent pas me sortir de mots pour la définir. En fait c'est un truc qui est comme en toile de fond sur la réflexion de tout le monde mais sur lequel on pose pas vraiment de mots. On prend pas le temps de s'arrêter dessus. Et du coup même moi qui fait de la recherche là-dessus c'est pas évident de poser une définition claire sur ce que c'est et ce que ça représente, mais pour l'instant j'utilise encore des mots-clés qui sont "Bien-être, participation, accessibilité, relations humaines et équité" mais c'est non exhaustif.

R7: Donc équité, participation citoyenne, et puis ?

Doctorante : Accessibilité, relations humaines et bien-être. Et en fait il y a des choses dont tu as déjà parlé par exemple, quand tu parlais des flux et des créations de lieux où on peut créer des lieux de rencontre, quelque part c'est se préoccuper du bien-être des personnes qui vont utiliser le bâtiment. Après on pourrait aussi étendre au bien-être des personnes qui construisent le bâtiment, ou qui conçoivent le bâtiment, ça peut être assez vaste. Et ça dépend un peu de ce que ça peut t'évoquer.

R7: Au niveau participation citoyenne moi j'en ai fait deux fois, sur des espaces publics. On a fait un truc d'ailleurs, je crois qu'il est repris sur Interreg, qui était la rénovation urbaine de tout un quartier à Verviers qui est plutôt défavorisé et qui s'appelle Pré-Javais, et ça on a fait beaucoup, on était soutenu par... si tu me dis son nom je saurais le retrouver mais... (réfléchit) enfin il représentait Interreg. On a une boîte de com' qui nous a pas mal aidés pour essayer de collecter de l'information et arriver à avoir des pièces à casser pour toute cette participation citoyenne. Moi j'ai un peu.. pas déchanté mais j'ai été un peu plus réaliste par rapport à cette participation citoyenne qu'on sort à tire-larigot. Il y avait Eric Le Coguiec qui a donné un truc à Liège Creative qui était très chouette sur la participation citoyenne, qui est très dur, si tu veux lui écrire sur la participation citoyenne. Parce que lui au Québec à Montréal il était dans les premières participations citoyennes, on parle d'il y a 35 ou 40 ans, sur les premiers lieux, de tiers-lieux qui étaient investis ou ce genre de choses là. Où maintenant on a l'impression que c'est un outil de communication qu'on utilise dans plein de communes pour enlever les compétences aux communes et de ne pas créer de cahier des charges, ou de ne pas mettre de personne en charge d'épauler la population, de ne pas aller faire de la recherche terrain alors que c'est leur rôle. Et de mettre tout ça sous le terme "participation citoyenne". Et le côté participation citoyenne nous on a remarqué en le faisant, moi j'ai travaillé avec un géographe-urbaniste là-dessus, donc très différent de mon profil. En fait il fallait leur donner à manger et ça c'est pas quelque chose qu'on explique, c'est-à-dire que tu dois faire un certain nombre d'hypothèses, des fois très folles, des fois très bizarres, et il faut faire des trucs très fous et très bizarres, parce que les gens vont s'attarder là-dessus, ou dans ces idées folles il y a quelque chose de plus équilibré qui va sortir. Et donc en fait il faut créer un genre de ... enfin nous on avait plein de fiches projets, des trucs complètement dingues et on avait même des fiches projets que les enfants des écoles avaient réalisées, qui étaient des fois les plus réalistes parce que des gosses arrivaient assez bien à filtrer, à redessiner des trucs, n'ont pas de limites au niveau du dessin ou ce genre de choses-là. Et en fait oui on s'est rendu compte que c'était plein de fiches projets, plein d'idées super bizarres à mettre sur le papier, leur donner des gros gros points noirs sur lesquels on savait qu'ils allaient attaquer direct, comme ça on les mettait direct de côté. Et puis après commencer à traduire et faire jaillir. Après moi je dis toujours "On fait dire ce qu'on veut au post-it", parce que c'est toujours des endroits où on met des post-it sur des murs on fait dire ce qu'on veut aux post-it, donc je suis un peu plus négatif par rapport à la participation citoyenne actuellement. Et nous c'est bizarre parce qu'avec Ma start-up on essaie de faire participer les clients, dans un "On a inventorié ça, on aimerait bien savoir quelle serait votre réflexion là-dedans". "Tient il faudrait que l'architecte prenne à bras le corps tous ces panneaux de béton architectoniques qui sont sur site, et qu'il en refasse des pavés, un truc. Tiens je vais le stimuler, je vais lui



donner des exemples". Et en fait on est dans un truc qui est assez similaire, c'est-à-dire qu'il faut donner des idées des fois très folles, des fois pour que eux-même arrivent à la réflexion. Donc il y a un côté manipulation, je sais qu'il faut pas tomber là-dedans parce que je sais que je vais lui donner une idée complètement folle parce que lui-même va arriver à une idée entre les deux et se dire "Ben en fait je pourrais faire des Klinkers". Si on lui avait dit des Klinkers il aurait pas pris parce que l'architecte a un côté un peu mégalo, donc il fallait qu'il arrive lui-même à la réflexion. Et c'est exactement pareil dans certaines communes où t'as des gens qui prennent trop de place, qui parlent pour tout le monde. Et donc tu leur donnes la pièce à casser ou la pièce à manger, pendant qu'avec les autres tu sais travailler sur un truc qui sera plus équilibré. On a pas vraiment de solution pour le moment et c'est marrant parce qu'on va travailler avec un mec justement qui a fait pas mal de design thinking et qui organisait des sprints pour des trucs comme l'Aventure Lab à Liège et tout. Pour comment est ce qu'on ferait de l'interaction, donc quand je te parlais tantôt de la présentation qu'on aimerait bien faire, c'est pareil. Moi venir et débiter tout un truc et pas avoir d'interaction avec les gens, ou alors si c'est pour poser une question et que tout le monde me dise à quoi ça leur fait penser le réemploi, et qu'on affiche les mots, et plus les mots sont grands et plus ça veut dire que des gens ont mis ce mot-là, je veux dire on a pas encore trouvé d'outils qui sont chouettes, on a des méthodes agiles, moi je me suis formé à ça l'an passé, ou on a des choses dans les méthodes agiles pour définir des scrums, des backlog etc. On a testé un des outils ce matin chez un entrepreneur très très vieux jeu avec un système de points qui sont pas des points qui se suivent... Là il y a des choses qui jaillissent, il y a des trucs. Parce que les personnes doivent prioriser, ils sont obligés de le faire. Mais j'ai pas encore trouvé un outil qui est... on influence toujours j'ai l'impression. Mais là je me perds dans la participation citoyenne (rires) . Mais qui est exactement pareille que de convaincre des communes, que de convaincre des promoteurs, que de convaincre des clients. Il y a pas assez de ... (réfléchit). Il y a pas assez de datas un peu figées. Faudrait arriver à quelque chose où il a des contraintes, ça donne des solutions qui sont déjà les bases des solutions, puis après on fait des pièces à casser. Un peu des bases qu'on remet pas en question. Où il y a des cahiers des charges qui sont établis parce qu'il y a une étude qui a été faite. Et de faire travailler les bonnes personnes aux bons endroits, et moi je dis toujours qu'il y a un peu ce côté chef d'orchestre, ça peut être un paysagiste dans l'espace public, ça peut être un architecte très "participation citoyenne" dans des projets de quartiers, de grands ensembles, de logements collectifs peu importe, ou d'habitats groupés. Mais il faut ce rôle-là et c'est très très très, c'est un équilibre très très fin du rôle qu'il a entre pousser mais pas trop, proposer mais pas trop... Enfin voilà il y a un peu ce côté "Lucien Kroll" à Louvain là tu vois ? A quel point est ce que vraiment ses étudiants lui ont dit de mettre ça comme ça et cette fenêtre-là comme ça ? Mais pourtant c'est des bâtiments qui sont iconiques, qui marchent bien, qui ont bien marché, des étudiants sont toujours dedans, se l'approprient toujours de la même manière. Donc on se dit que la recette elle est pas si mauvaise que ça. Il y a un truc qui s'appelle "La vie en kit" qu'on a fait et qui est assez marrant à regarder, qu'on a tourné aux Ateliers de l'avenir, où elle parle de toute cette participation citoyenne, d'un truc de post-soixante-huitard, on réinvente pas du tout la route en le refaisant maintenant. Donc je crois qu'il faudrait un peu reprendre déjà tout ce qui a été fait, voir vraiment si a des gens qui ont fait évoluer leur logement, si il y a des gens qui ont modifié des trucs dans des habitats groupés, à comment ils les ont modifiés, au lieu de repartir à nouveau sur des scénarii. Et là je rejoins un peu plus le côté de la recherche de ma copine, du Caire, où il y a une connaissance qui percole pas, alors qu'il y a des recettes qui sont là. Et on voit que dans des, là je prends l'autre extrême, dans des logements adaptés ou dans des nouveaux types de logement pour des personnes handicapées, ben les meubles sont plus adaptés. Et on se dit que c'est quand même très con, il y a des gens qui dessinaient des trucs parfaitement sur mesure, standardisés, dans les années 60, 70. Et puis maintenant on a des machines qui savent tout faire au niveau découpe numérique et on se retrouve avec un mec dans son appart spécialement PMR, qui sait pas ouvrir l'armoire. Ouais je trouve qu'il y a une ignorance énorme. Donc voilà, ce côté durabilité sociale à mon avis j'ai tendance à dire qu'il passe par une expérience, mais cette expérience elle doit être collectée, elle doit percoler et elle doit être ramenée d'une certaine manière. Alors est ce qu'il y a une partie qui doit être amenée de manière très pragmatique parce qu'on a mis des contraintes dans du paramétrique et ça donne ces scénarios-là, et c'est notre base de travail. Et des projets complètement fous, d'aller retrouver tout ce

qui a déjà été fait. Pour un peu stimuler des gens, mais les stimuler dans un cadre sans pour autant les influencer. Ou les manipuler (rires). Je suis super long je suis désolé.

Doctorante : Non c'est les meilleurs entretiens où la personne parle beaucoup.

R7: Et j'ai ma collègue qui est en face de moi qui doit se dire "Putain".

Doctorante : Ah oui. Est ce que tu sais me rappeler le nom de famille de ta compagne ? Parce que ça m'intéresse tu m'as dit qu'elle avait écrit des papiers et ça m'intéresse.

R7: Ouais maintenant elle est vraiment sur le Caire, au départ c'était la place de la femme dans l'espace public puis elle a transformé dans le Caire et dans les grands ensembles, et là elle prend comme sujet de thèse... je crois qu'elle arrive pas tout à fait à faire son titre mais en gros elle a pris Droixhe Liège, Droixhe je sais pas si tu connais c'est un grand ensemble qui a été fait post-guerre, enfin après-guerre, par des gros bureaux d'étude d'ici qui s'appelaient... Je sais plus. Et il y a plein de choses qui ont été pensées pour des malades de la polyo, qui avaient un centre spécifique. Et la polyo c'est pas un PMR quoi. Le mec il se balade avec un sarcophage, un poumon d'acier qui doit faire 2m50 sur un mètre. Tu dois le faire tourner dans des couloirs, le faire entrer sur des terrasses, parce que les gens ils passaient 16h par jour dans ce truc donc... Ils allaient pas rester dans leur chambre.

Doctorante : Ok.

37:20 > 39:05 [ Pas de thématique]

Doctorante : Ok, maintenant je vais te transférer un document dans la conversation.

R7: Ouais.

Doctorante : Du coup on arrive à la dernière partie de mon questionnaire. Qui va consister à parcourir ce document ensemble et je vais te demander de réagir.

R7: J'ai pas pu copier le lien...

Doctorante : Je peux te l'envoyer par mail. Voilà le mail vient de partir.

R7: Ouais je l'ai reçu.

39:05 > 53:00 [Sécurité]

R7: Ok, je le lis d'abord ?

Doctorante : Non on va le faire ensemble. Dans ce document à chaque fois tu as deux colonnes, la première c'est une sorte de critère de durabilité sociale et la deuxième c'est des possibilités d'interaction avec le BIM, donc des formes d'usages BIM qui peuvent servir ce critère. C'est une grille qui a été réalisée à la fois à travers l'étude de la littérature, donc un croisement de deux recherches qui sont des méta-analyses de plein de recherches qui ont essayé de faire ça, donc c'est un truc vraiment très général, qui essaie de recenser toutes les possibilités. Donc ça c'est les tirets, et à la fois il y a des astérisques et ça c'est des choses qui ont été rajoutées par des personnes qui ont été interrogées. Donc moi mon objectif c'est de confronter ce qu'il y a dans cette grille avec la réalité de terrain. Et éventuellement rajouter des éléments auxquels je n'aurais pas pensé ou qui n'auraient pas été repris dans les études sur lesquelles je me suis basée. Ce que je fais souvent c'est que je fais un critère à la fois et après en fonction des personnes soit on lit les critères d'un coup, et après la personne réagit à la majorité, soit la personne réagit à chaque critère. Dans "Sécurité" il y a pas mal de critères, après les autres c'est beaucoup moins conséquent. L'idée c'est de vérifier si ces critères-là, ces tirets-là, tu les as déjà expérimentés. Je vais te demander d'orienter ta réponse en réfléchissant en "passé,

présent, futur". Donc est ce que tu as déjà fait ça par le passé, est ce que c'est quelque chose que tu fais, quand je dis "que tu fais" ça peut être quelque chose que tu vois, ou que tu sais qui existe, donc par le passé, maintenant ou tu penses que ça n'existe pas encore mais que ça pourrait exister dans le futur. Et après je te demande aussi, suite à tous les critères de "Sécurité" par exemple, voir si d'un point de vue idéal il y a quelque chose de plus qu'on pourrait faire. Et qui se retrouve pas dans la liste pour l'instant.

R7: Ok. "Utilisation des données des précédents chantiers pour identifier les accidents fréquents", ça c'est un peu la percolation de la connaissance, et je sais que SECO a essayé de faire ça. Je sais pas si tu as été en contact avec eux, il y a des gens très chouette chez SECO. Ils essaient même de... ils ont même des trucs en circularité. "Vérification des règles de sécurité", Oui nous on a de plus en plus de formations, aux Ateliers on essaie de former de plus en plus de gens, avec des personnes handicapées mais c'est beaucoup plus compliqué de les faire intégrer les règles de sécurité, et c'est en atelier, c'est de la préfab donc c'est même pas sur des vrais chantiers. A ciel ouvert, ça on oserait pas. Et on a quand même des accidents tout le temps, il y a plein de trucs qu'ils oublient et on doit faire des rappels exagérés.

Doctorante : Est ce que tu penses que la maquette numérique peut aider à faciliter ça ? Parce que justement là il y a une lacune du coup ils ont du mal, est ce que le fait de visualiser ou d'utiliser un modèle numérique, je sais pas, ou de créer peut-être des fiches ?

R7: Ouais, j'imaginerais plutôt un cheminement de chantier, ou une sécurisation de chantier qui évolue quand le bâtiment monte, où ça ce serait des choses qui pourraient être programmées sur le modèle 3D et on changerait un peu toujours. Tu vois s'il y a une remise à jour des endroits de chute... Parce que ça évolue au fur et à mesure et en fait tu te rends compte que plus un truc reste sur chantier, moins il est sécurisé. Oui après des coordinateur sécurité/santé passent sur les chantiers, sont jamais vraiment en relation avec nous pour les expériences que j'ai pu avoir, et à part dépenser beaucoup d'argent nous on y voit peu d'utilité. Après c'est toujours quand tu as un accident où tu te dis "Ah oui il est passé, il l'avait dit, c'était intéressant". Mais il y a un côté communication avec l'archi qui est très peu présent, mais ça doit être son rôle. J'ai pas vraiment grand chose d'autre à dire. "Localisation sur un chantier en temps réel des ouvriers et des équipements", ça ça peut être très marrant, parce que maintenant ils sont de plus en plus tous connectés, tous les trucs. Et nous on essaie d'expérimenter aussi la caméra 360 sur les casques, j'ai vu de plus en plus de trucs où parce qu'il y avait la maquette BIM, les gens se baladaient, il y avait un comparatif entre le réel que la caméra voyait et la maquette BIM, pour voir des problématiques. Après c'est pas quelque chose que j'ai expérimenté. Je trouvais ça très chouette, nous on aimerait bien l'expérimenter pour se dire "Je fais un inventaire avec une caméra 360" et après je n'ai plus besoin de faire un reportage photo ou autre, je saurai retrouver exactement où je suis passé. Ça peut créer des petits modèles, des dollhouses et des choses comme ça. Et des plans schématiques qui pourraient nous satisfaire. Et avoir quelque chose en 4K qui est exploitable, sans devoir nous mettre en danger sur les chantiers au niveau des inventaires, parce qu'on passe très peu de temps à ça, ça rejoint un peu ce que je te disais tantôt. Ce côté capteur sur les casques des ouvriers je trouve ça assez intelligent, assez facile à mettre en oeuvre, surtout que maintenant sur tous les chantiers quasi il y a un wi-fi chez nous. "Identification des conflits horaires entre les équipes et les équipements lourds"... Ouais ça les planning de chantiers il y a de plus en plus d'outils comme les plannings de Gantt, un peu interactifs, des outils de gestion qui deviennent de plus en plus intéressants. Je pense à des programmes comme Vertuoze, qui sont cools et qui permettent d'intégrer ça. Mais la construction a une guerre de retard en technologie, donc c'est assez compliqué à mettre en oeuvre. Et "Gestion des interventions en cas d'incendie" là j'ai pas d'avis là-dessus, donc je ne sais pas.

Doctorante : Après il y a aussi "entraînement et formation des usagers à la sécurité", dans l'idée que le fait d'avoir une maquette qui est du coup plus visuelle qu'un plan, pourrait aider les usagers qui ont parfois du mal justement à se repérer dans le plan, à comprendre ce qu'ils sont sensés faire, où sont les objets, où sont les échelles de secours, où sont les chemins d'évacuation etc.

R7: Ouais ça c'est, je trouve, hyper hyper intéressant et j'ai un exemple hyper concret, on était chez un gros démolisseur dernièrement, qui a des hommes qui sont... les démolisseurs c'est dans les ouvriers les plus trash, encore pire que les terrassiers, et ça arrive beaucoup quand il y avait eu la vidéo, je sais pas si tu avais vu sur internet, où un mec avait démoli la mauvaise maison. C'était il y a un petit temps maintenant, ils s'étaient trompés ou le patron avait mal expliqué, mais eux ça leur arrive souvent, parce que les mecs ils arrivent avec des gros engins, ils démolissent des trucs, c'est hyper dangereux, il y a une maison à côté, c'est une zone qui est pas sécurisée... Il ya des gens qui passent,... Et donc ils ont investi dans des énormes écrans télé où tu peux écrire dessus avec des gros stylets rouges. Et il utilise des trucs comme streetview, il a même un programme où il voit vraiment tout en 3D quand il y a des nuages de points, des scans qui ont été faits, ou des modèles. Il va vraiment entourer, il fait des printscreen, il envoie sur des tablettes à ses chefs de chantiers. Et voilà, un écran comme ça de mémoire c'est 3 à 4000€, ben il l'a rentabilisé après un an. Parce que le nombre d'erreurs a été vraiment très très fort diminué. Donc oui c'est des choses qui, je pense, quelqu'un qui sait pas lire des plans ou quelqu'un qui sait pas lire une vue d'implantation, il saura lire plus facilement une vue 3D, googlestreet ou maquette 3D entourée en rouge, pour lui dire ce qu'il faut. Il y a des personnes qui ont des compétences en démolition, c'est pas pour ça qu'ils ont des compétences en lecture de plan et en sécurité. Mais si la personne qui doit lui faire faire le travail arrive à le traduire d'une certaine manière ou à le visualiser d'une autre manière, là je pense qu'effectivement ça résout pas mal de choses. Nous aux Ateliers je sais que pour les accidents de travail ils essaient de schématiser beaucoup plus et de travailler avec des gens pour faire des schémas de sécurité sur site. Pour justement faire comprendre tout ça. Parce que c'est beaucoup beaucoup plus efficace. Donc voilà un peu une des seules expériences que j'ai, et je trouvais que son expérience de démolisseur c'était assez intéressant. Et tous les matins il démarre par ça, et tous les matins il a des gros stylets, en rouge il entoure sur un énorme écran qui fait deux mètres de long sur 1m50 de haut, et tout le monde voit bien en 4KHD ce qu'il se passe.

Doctorante : Ok. Après on passe dans les éléments qui ont été relevés par les gens que j'interrogeais, et il y avait quelqu'un qui avait parlé de la modélisation des aménagements liés à la sécurité, donc modéliser dans la maquette les échelles de secours, les lignes de vie, des choses comme ça.

R7: Ouais, ça je trouverais ça intéressant qu'il y ait un peu ce côté... un plan qui évolue quand le bâtiment monte, ou même quand il est rénové, je dis "monte" comme si c'était une nouvelle construction, mais dans un bâtiment qui va être rénové il va y avoir des phases, il va y avoir des stades. Mais en fait arriver à définir des plans de sécurité, avec différentes échelles, avec différents gardes-corps, à certains moments du chantier et à ce moment-là t'as un coordinateur sécurité-santé qui doit aller voir que c'est bien équipé. T'as ce côté récurrent, tu sais qu'à chaque étape de projet tu dois remettre ça à jour, qui doit être vérifié, qui doit être mis en PV, ... Ca évite qu'un garde-corps qui est mal mis en oeuvre, qui va être un peu dévissé, qui va un peu bouger, où les ouvriers passent par là et ils vont continuer à passer par là pour sortir, pour aller chercher à manger... Ben oui après six mois de chantier ce truc-là il existe plus. Donc oui je trouve ça assez intéressant de pouvoir prévoir les différentes phases, et du coup les différents aménagements de sécurité qu'il va y avoir. Et que ce soit garanti et qu'il y ait un rapport dans le chantier. Oui je trouve ça très intelligent comme méthode. Il faut pas que ce soit trop lourd mais ça amènerait un vrai travail au coordinateur sécurité-santé. C'est pas mal.

Doctorante : On a aussi évoqué la modélisation des équipements de sécurité, qui sont provisoires comme les échafaudages, les gardes-corps ou les zones de stockage, donc c'est un peu...

R7: Oui ça fait partie des même trucs.

Doctorante : Et alors on a aussi parlé de l'utilisation du modèle numérique par les pompiers en cas d'incendie. Pour qu'ils puissent savoir où se situe... normalement les plans servent à ça mais pour pouvoir avoir une vue en 3D de la situation. Voire, avoir une mise à jour de l'état du matériel sur place, quand est-ce qu'ont été faits les derniers contrôles etc. Ca en général les pompiers n'ont pas cette information-là à l'avance puisque souvent c'est une feuille qui est calée près de l'extincteur ou des choses comme ça. Qui dit "mis à jour à telle

date" mais ça souvent on ne sait pas le savoir tant qu'on est pas devant l'extincteur, mais là ça pourrait faire partie d'une banque de données où les pompiers sont au courant de l'état de sécurité général, l'état d'entretien du matériel de sécurité.

R7: Je répondrais plus global que ça, les pompiers ils ont une personne qui consulte mais on a déjà parlé du côté ... avoir une maquette BIM en DIU qui reprend tout et qui est stockée en ligne quelque part et du coup qui est consultable par différentes personnes dont les pompiers, et quand il y a maintenance, ce modèle intègre la maintenance et quand il y a une transformation ce modèle intègre la transformation, et tous les matériaux sont répertoriés et il y a ce type de passeport matériaux et cette traçabilité des choses. J'ai envie de dire qu'on va vers ça, mais quand il y aura tous les bâtiments qui seront modélisés avec des vraies maintenances et qu'il y aura plus de problèmes. Ma start-up n'aura plus beaucoup de travail mais oui je crois qu'il faut travailler là-dessus. Mais du coup les pompiers sont un des intervenants qui pourraient consulter ce genre de choses. Ce qu'il y a c'est que c'est des choses en plus à faire, parfois les architectes ça devient de "l'administratif" en plus. Mais ici je trouve qu'un modèle qui est fait en as-build et qui va évoluer avec la maintenance pour que les pompiers le voie, oui. Maintenant est ce qu'ils vont utiliser la maquette numérique, est qu'ils ont le bon programme, est ce qu'ils sont formés pour ça ? C'est dans les personnes les plus compliquées quand on doit les consulter nous pour des chantiers. Je sais pas s'ils sont ouverts à ce point-là.

Doctorante : C'est un élément que la personne avait mentionné comme étant idéal, donc ça veut dire vraiment pas de contrainte financière, technique, technologique, de formation, d'acceptabilité sociale du procédé ou des choses comme ça.

R7: Non, oui, du coup ça se connecterait, un bâtiment à la fin aurait son BIM de maintenance et ça ferait partie des trucs où les pompiers doivent savoir ce qu'il y a. Mais ce serait pas que pour le pompier quoi. Je trouve que c'est des gens bizarres qui ont beaucoup de pouvoir et qui sont très mal formés actuellement.

Doctorante : Est ce que dans le critère sécurité il y a quelque chose par rapport à ta pratique du quotidien où tu t'es déjà dit, ou là maintenant suite à cette lecture, que le BIM pourrait servir d'un point de vue sécurité ?

R7: Non, moi j'ai jamais eu vraiment beaucoup d'accidents sur chantier. On parlait avec une collègue où ils ont eu un gros truc qui vient de tomber à Bruxelles la semaine passée, ils ne savent pas la faute de qui c'est, de quoi, et donc ils sont en train de se rejeter l'avocat. Je ne sais pas, un des seuls problèmes qu'on a déjà eu c'était des trucs de toiture et c'était pas en rapport avec la sécurité, c'était juste de la mal-façon. Donc non j'ai jamais... Après quand t'as un accident sur chantier tu t'en rappelles mais... Non j'ai jamais vraiment eu ça mais je comprends qu'il y ait des règles et il faut les faciliter d'une certaine manière, donc je trouve les idées là sont bonnes mais j'ai pas un avis assez tranché, enfin expérimenté là-dessus.

Doctorante : Ok.

53:00 > 1:12:02 [Confort des usagers]

Doctorante : Le point suivant c'est le confort des usagers. Le premier point c'est la collecte des données liées à l'occupation du bâtiment. Donc la sécurité c'était vraiment axé phase chantier, majoritairement en tout cas, alors qu'ici on est plutôt en phase d'exploitation du bâtiment, voire de conception pour certains critères. Donc ici la collecte des données, c'est plutôt lié à la phase d'exploitation, où on collecterait les données durabilité sociale occupants. Pour avoir une idée de leur consommation et peut-être que eux-même aussi puissent avoir une idée de leur consommation. Je parle de consommation, ça peut être consommation électrique, ou de chauffage, mais ça peut aussi être qu'ils puissent avoir une idée de leurs habitudes d'utilisation du bâtiment, de se rendre compte qu'ils utilisent une partie du bâtiment à tel moment alors qu'une autre partie du bâtiment pendant toute la journée est pratiquement pas utilisée. Pour pouvoir après optimiser ces espaces, ça peut être très large.

R7: Oui on en avait parlé ensemble. Je vois juste pas du tout comment calculer ça. Mais oui ce serait des datas qui seraient hyper intéressantes, de savoir comment les gens vivent, comment utiliser un bâtiment, comment ils utilisent les technologies du bâtiment, à quel point c'est foireux, pas foireux. Je me rappelle d'un truc que nous on a déjà fait deux fois, c'est qu'on met des thermostats dans des classes ou dans des salles de cours, où en fait il y a un plus, un moins, mais en fait les gens ne savent changer que un degré et demi vers le haut et un degré et demi vers le bas. Et en fait il y a cette impression que t'as un contrôle alors que t'en as quasi pas. C'est un petit truc qu'on utilisait qui était marrant mais pour donner l'impression, parce que des fois il y a le côté où t'as une impression de sensation de chaud parce que t'as mis plus plus plus. Et la petite lumière te mettait comme si t'avais cinq trucs en plus alors que littéralement c'était par 0,1 degré qu'on mettait. Oui avoir ces infos-là je trouve ça intéressant, après comment savoir où les gens passent, comment ils utilisent l'espace, comment ils poussent les portes, comment ils éclairent, comment ils ferment leurs rideaux ou leurs stores. Comment ils ventilent. C'est beaucoup beaucoup d'infos. Je sais pas comment les collecter et en même temps quand on les collecte il y a toujours ce côté "généralisation" de ça. Je prends un exemple il y avait..., c'est quelqu'un de la famille qui fait de la recherche à Louvain sur le confort thermique. Tout le monde s'en foutait de ce bazar-là avant que les énergies explosent, et maintenant que les énergies ont explosés ils sont je pense toutes les deux semaines sur "On est pas des pigeons", pour expliquer qu'avec une montre chauffante ou un panneau infrarouge... Et eux ils ont étudié chacun de leurs déplacements, toutes les personnes du labo ont fait ça depuis deux ans, ils arrivent à avoir des infos et des datas. Et je trouve ça tellement compliqué à mettre en oeuvre, juste pour le côté "chauffage et consommation". Donc se dire qu'on a ça sur le côté "déplacement et utilisation", donc où les gens s'asseyaient et tout ça. Mais ça pourrait être hyper intéressant, sur des lieux comme... des grands lieux publics qui coûtent une fortune comme des bibliothèques, des médiathèques, des gares... on peut faire plein de trucs, des lobbies d'hôtel, des salles de classe, des écoles... Mais je vois juste pas comment le faire. A part des grosses caméras qui après calculent des flux et orientent la définition d'espace... Oui au fur et à mesure de l'utilisation, un genre de machine learning de la TS, pour qu'au fur et à mesure il y ait un automatisme. Il y a ça avec des boilers maintenant. Qui apprennent comment tu consommes ton eau, et donc ils faut au fur et à mesure qu'on produise par rapport à ta consommation. Le jour où tu décides de prendre une douche à 15h au lieu de 8h c'est problématique. Mais oui, en fait je trouve ça super cool et ce serait l'idéal pour un peu donner des vraies datas, après c'est comment on les interprète, comment on les généralise. Même si on vient avec toutes ces datas qui ont demandé une énergie dingue, qui va les entendre, ou vouloir les entendre ? C'est toujours un peu ça que je trouve compliqué. Dans l'absolu oui parce qu'on "croit savoir" et si on savait vraiment comment les gens utilisaient l'espace ça permettrait de dire "Ben vous voyez, trois quarts de ce volume servent à rien". Oui dans l'idée, sur ce truc "idéal sans aucune contrainte", je trouverais ça idéal de pouvoir analyser un bâtiment à une temporalité donnée tous les trois ans, cinq ans, j'en sais rien, et pouvoir se dire "Ok on fait évoluer, cet espace-là ne sert à rien, on voulait justement agrandir la buanderie". Mais je vois pas comment oui. Et ça pourrait aussi nourrir les rénovations des bâtiments aussi, et on rénove de plus en plus vite les bâtiments aussi, maintenant on est appelés sur des projets ou mon collègue aussi, Jérôme, sur des rénovations et des PEB, où ils doivent changer des trucs. On parle de gros bâtiments publics comme Infrabel et tout, ils remettent 10 millions sur un bâtiment qui a quatre ans, parce qu'en fait ils avaient besoin de plus de place donc on se dit que c'est une ineptie puisque ça a mal été pensé. Et puis en même temps si on le rénove on sait pas très bien comment on va le rénover, on sait juste qu'il faut plus d'espace et donc oui on va claquer 10 millions et on s'en fout c'est de l'argent public. Donc une nécessité il y en a, maintenant comment leur faire entendre ça ? Et comment avoir ces données, voilà, c'est ça mes grandes questions.

Doctorante : Le point suivant du coup c'est plutôt en phase de conception, c'est de faire des études de simulation de l'éclairage naturel, pour avoir une idée de comment le bâtiment sera éclairé.

R7: Oui ça rejoint ce qu'on disait avec les espaces de vie, on va simuler la vie dans un espace et faire comprendre, que ce soit des étudiants, des professionnels, des architectes, des jeunes ou vieux architectes expérimentés, de comprendre que ce lieu-là il va pas marcher quoi. Ou justement qu'il va fonctionner, ou

que tient c'est marrant la lumière se dépose sur ce mur-là, j'avais pas pensé à ça. Et aussi aller travailler avec la masse des matériaux. Tout le monde construit avec les mêmes matériaux partout, et il y a toujours ce côté du bon matériau au bon endroit. Qu'est ce qui va capter de la chaleur ? Qu'est ce qui va restituer, qu'est ce qui va faire une sensation de froid, même si les données ne vont pas l'amener et effectivement ça c'est des... Je crois qu'il y a des simulations qui peuvent amener ce genre de trucs dans ce confort, qui n'est pas nécessairement un confort thermique, enfin aussi, mais un confort du lieu, de l'utilisation... On voit des inepties des fois, avec des salons qui ont une triple hauteur, et on se dit "Mais un salon c'est l'opposé de la triple hauteur, c'est plutôt un truc très bas". Enfin oui, oui je pense que...

Doctorante : C'est quelque chose que t'as déjà expérimenté ou tu penses que ça pourrait être intéressant ? Enfin tu dis ça parce que tu l'as déjà expérimenté ou tu dis ça parce que tu t'es déjà dit que ça pourrait être intéressant ?

R7: Moi ce que je fais c'est qu'on joue avec le soleil sur les Archicad etc. Et moi j'aime bien dans mon truc 3D de voir quand la lumière entre et ce qu'elle pourrait donner, est ce que ce serait intéressant de pouvoir mettre une vitre qui va en même temps ramener de la lumière dans un autre espace derrière, parce que la lumière va se déposer. Je trouve ça... Et la lumière va se déposer sur ce truc-là et j'y avais pas pensé donc ça fait vibrer ce matériau-là. C'est hyper intéressant. Il y a un peu toutes ces études qu'on fait pas aussi dans la conception, enfin quand on est sur des plus grands ensembles, on le fait, enfin c'est obligatoire, dès que t'as des lotissements ou des grands ensembles on te demande une étude d'ensoleillement. Et on devrait un peu, pas "obliger" mais t'aurais une étude d'ensoleillement dans les apparts ou les trucs que tu crées, tu dirais "Et en fait vous avez remarqué que dans votre salon il y a jamais un rayon de soleil qui entre sur toute la journée sur toutes les saisons, et qu'il y a un petit problème". Et il y a eu ça ici à côté aux Guillemins, où le gestionnaire de chantier m'a dit "Je sais pas comment les archis ont dessiné ça mais il y a des logements où il y a jamais un rayon de soleil qui entrera de toute leur vie". Donc oui, ça rejoint le côté étude d'ensoleillement mais ça peut amener plein d'autres trucs où on sait simuler, on se rend compte des vues, des perspectives, des séquentialités... Et même de manière, je sais que maintenant quand t'as une maquette BIM tu peux dire aussi "balade-toi dans le bâtiment" et t'as un personnage qui va se balader dans le bâtiment et qui va faire un parcours qui était peut-être pas celui qu'on avait pensé, pour montrer certaines choses. Les études d'ensoleillement c'est pareil. Non je trouve ça très très intéressant ça.

Doctorante : Le point suivant c'est l'identification des causes d'inconfort qui sont liées à l'agencement des espaces. Ça c'est un des points qui vient de la littérature mais qui est assez difficile à expliquer comment ils ont fait pour réussir à identifier ça.

R7: T'es dans quel point là ? Je le vois pas.

Doctorante : C'est le troisième, "confort des usagers", troisième point.

R7: Ah oui j'étais déjà à "Processus d'apprentissage". Pardon. "Identification des zones d'inconfort et agencement des espaces"... Ouais ouais, mais là je rejoins le truc qui est, c'est marrant parce que moi je parle pas mal avec deux ou trois amis qui sont vraiment dans l'IT très très poussé, qui eux parlent de machine learning et de ce genre de choses-là. S'il y a une erreur qui est faite encore et encore et qu'on dit 46 fois à la machine "Là il faut pas le faire", ça je trouverais ça cool de pouvoir se dire "Ah t'as ton modèle 3D, tu l'orientes correctement", et puis je fais travailler un truc de machine learning qui va faire le parcours, qui va dire "Attends il y a un bug quand même" parce que ta chambre elle est trop étroite par rapport à sa hauteur. Tu vois il y a des règles métiers qui ont été mises en place, je sais pas si... nous on dit "règles métier" avec nos trucs d'informatique, je sais pas si c'est juste. Mais de se dire que quand il y a pas match, ou qu'il y a un truc qui sort... C'est pas pour ça qu'il faut que ça devienne un truc de standardisation mais dire "Attends là il y a un point rouge, je vérifie quand même ça". Oui ça pourrait être une aide à la création. Et se dire qu'il faudrait que pas mal de points soient checkés en vert pour être sûrs qu'on est dans une zone qui est confortable, ou qui est... Parce que ça c'est un vrai argument pour dire "le bâtiment est durable", c'est que t'as checké tous

ces trucs, t'as checké que t'avais de la lumière, t'as checké que t'avais une bonne hauteur, que t'avais une sensation de confort, enfin que tu avais un radiateur, que t'étais dans une zone chauffée ou pas chauffée. Ou que t'es en plein dans un courant d'air, ça c'est possible aussi. Non je trouverais ça hyper intéressant, d'avoir ce genre de petits modules à rajouter. Il y avait ça dans les modules, qui existent déjà depuis longtemps, les modules pour les camions. Quand tu mets un petit truc, il y avait un module AutoCAD et sur Archicad il y avait également un module que tu pouvais payer, où tu faisais tourner ton camion dans son parking, il faisait demi-tour et il re-sortait. Et tu voyais si dans ton hangar ou ton équipement industriel, le camion, l'essieu savait vraiment passer. En fait c'est un peu ce genre de petit add-on que tu pouvais avoir, qui serait hyper intéressant.

Doctorante : Oui.

R7: Pour faire gagner des points ou avoir une labellisation. Toujours la carotte plutôt que le couteau.

Doctorante : Oui. Le point suivant c'est le monitoring de la production d'électricité et de chauffage, donc ça rejoint un petit peu le premier point, mais c'est vraiment axé sur "consommation et production d'électricité et de chauffage". Dans l'idée que l'usager pourrait avoir, enfin dans les critères de bien-être quand on voit comment faire pour qu'une personne se sente bien, le concept de contrôle sur la situation, que ce soit dans un bâtiment ou dans la vie sociale ou quoi que ce soit, c'est quelque chose qui est assez important, que la personne se sente libre en fait de contrôler ce qui l'entoure. Et donc avoir une idée de sa production, et de pouvoir agir dessus, c'est comme tu disais tout à l'heure en fait avec ton thermostat. Et je trouvais ça assez intéressant en fait ce concept d'avoir l'impression d'avoir le contrôle sans pour autant avoir vraiment le contrôle. Parce qu'une remarque qui me ressort beaucoup sur cette question-là, c'est de dire que c'est bien que les usagers aient le contrôle, mais si après ils font n'importe quoi ça peut mener à des comportements qui ne sont pas durables. Pas dans la durabilité sociale mais plutôt dans la durabilité écologique. Et donc ce concept de donner l'impression de contrôle peut permettre de faire un entre-deux en fait.

R7: Ouais et tu vois on rejoint un peu le côté participation citoyenne que je disais tantôt, c'est à quel point est ce que tu es dans la manipulation (rires). Mais il y a une liberté, c'est juste qu'elle est moindre que ce que les gens croient. Après tu mens pas vraiment parce que tu mets un plus et un moins, et tu mets trois petites loupiottes au-dessus et trois petites loupiottes en-dessous. C'est eux qui imaginent que la loupiotte veut dire deux degrés ou six degrés ou cinq degrés, j'en sais rien. Au final qu'elle ne donne que un demi degré ou 0,1 degré, ça c'est hyper faisable avec tous les sanitaristes. Parce que non, je crois... il y a le côté aussi... le côté monitoring de l'électricité et du chauffage moi je le vois plus comme le côté "savoir", et du coup il y a un côté de sécurité quand tu sais. Il y a combien de gens qui ont été surpris par leur consommation, et par leur facture énergétique. Et donc tous les gens qui ont des panneaux solaires ont leur application sur leur téléphone et sont très heureux de regarder quand ils sont au bureau, de voir combien leurs panneaux sont en train de consommer. Mais ce côté un peu "résumé Google de ton mois", de dire où t'as été, ce que t'as fait, combien t'as consommé, pour être sûr que t'es dans le bon. Et donc tu sais et t'es pas surpris quand ta facture arrive, ou tu dis "Tient c'est bizarre j'ai quand même beaucoup consommé, il y a pas une fuite quelque part ou il y a pas un truc qui foire ?" Donc moi je vois le côté sécurité dans le côté savoir, ou rassurer. Il y avait eu ça dans le côté design thinking où ils avaient étudié le fait des hopitaux, je sais pas si t'avais déjà lu ce truc-là, où on disait qu'une personne qui entre dans un hopital, si la signalétique est bonne et qu'elle a des bonnes couleurs, et qu'elle sait exactement où elle va et où elle doit attendre, et que quand elle se met dans la salle d'attente elle doit appuyer sur une sonnette qui même des fois n'est jamais connectée, on s'en fout, mais comme ça elle a signalé sa présence. Elle est dans la salle d'attente et puis on vient s'occuper d'elle. Plutôt que de leur dire "Asseyez-vous, on va s'occuper de vous" et où elle est en panique à moitié, elle a déjà à moitié trouvé le chemin, c'est compliqué, elle sait pas si elle est dans la bonne salle. Arrivée chez le médecin, elle n'arrivait pas à exprimer ces symptômes et du coup c'était beaucoup plus compliqué pour le médecin de comprendre, les consultations étaient beaucoup plus longues. Et en fait une bonne signalétique et une bonne scénographie dans un hôpital et avoir l'impression qu'on était pris en charge résultait d'un... Oui il y avait un



vrai résultat qui était en fait que les consultations sont plus courtes, plus efficaces, tout le monde gagne plus d'argent, surtout les hopitaux qui sont une machine à fric. Et donc en fait c'était résolu uniquement par un côté "design thinking" de "savoir" ou d'avoir l'impression d'être pris en charge et pouvoir voir, pouvoir avoir un rapport mensuel. Donc non je suis assez pour ce truc-là d'enlever les côtés d'inconfort, d'insécurité, d'incompréhension.

Doctorante : Ensuite on avait l'estimation des coûts, donc le calcul des coûts liés à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers. Souvent quand on fait un projet évidemment on fait une étude financière, mais là l'idée c'est plutôt de manière prospective, de se dire "Tiens je voudrais faire cette rénovation ou celle-ci, laquelle est à ma portée ?".

R7: (réfléchit longuement) Euh ouais. Je sais pas si on l'avait dit quand on s'était vus à Liège, on dit toujours ... On trouve ça débile d'emballer avec de plus en plus de pétrole, pour consommer de moins en moins de pétrole, les bâtiments. Il y a un côté, oui il faut isoler, il faut rénover mais il y a une connaissance de tout ça qui est hyper faible de certains matériaux qui sont tellement consommateurs d'énergie, et on va projeter tous les matériaux autour et il faut absolument rénover, absolument rénover... J'ai l'impression qu'un arbre à choix serait tellement facile à faire, un peu comme les petits, ça porte un nom là, les petits helpdesks que t'as quand t'arrives sur une page web, là où tu poses une question mais il y a déjà un arbre à choix de questions et c'est un petit bot, un petit wizard, widget qui travaille derrière. J'ai l'impression qu'un bon outil comme ça avec des... oui de dire "vous avez un bâtiment de quelle année", "vos murs sont comment", "où est ce qu'il y a une tâche d'humidité". C'est exactement la même problématique, elle est peut-être plus illustrée comme ça mais c'est l'humidité ascensionnelle. J'avais encore lu un truc du CSTC, enfin Embuild, que neuf fois sur dix les injections dans les murs ne servaient à rien sur les remontées capillaires, qu'il fallait ventiler, trouver des matériaux perspirants etc. Mais pourtant neuf personnes sur dix font des injections dans les murs qui coutent 1000€ le mètre ou 500€ le mètre courant. Donc t'as mis 5000€ à injecter du plastique dans tes murs et ça y est ça pourrait juste les fondations au lieu de pourrir ton mur. C'est pareil en fait, je trouve qu'il y a un manque de connaissance et donc ce côté "arbre à choix" ou petit bot pour aider à savoir quoi faire dans quelle mesure. Mais par contre il y a des choses qui sont moins calculables, et on l'a vu dans, je te dis même le mec de Louvain là, du labo de recherche en confort thermique, ben il y a des choses qui sont moins calculables. Et donc s'il y a quelqu'un qui dit "Moi je veux faire ça pour avoir tel résultat"... Ben oui le seul moyen d'avoir le même résultat c'est d'avoir toutes les mêmes échelles de valeur, l'échelle de valeur actuelle pour tout le monde c'est la PEB, qu'elle soit bonne qu'elle soit pas bonne, au moins elle est commune c'est déjà pas mal. Et il y a des matériaux qui fonctionnent très bien en PEB mais qui sont très très mauvais en énergie de production et qui sont très très mauvais en inertie thermique ou en déphasage thermique, ou en plein de choses. Donc ça devient tellement tellement de... Puis même rien que le prix, ça veut dire que ton bot ou ton arbre à choix il devrait être mis à jour en permanence par rapport au prix des énergies. Mais si, je pense que si, ça peut déjà dégrossir, c'est comme tout c'est la transmission de l'information. Moi je trouve que si les gens peuvent être informés et qu'il y a déjà un arbre à choix qui leur permet de le faire... Bruxelles Environnement a fait des dizaines et des dizaines, si pas des centaines de fiches qui expliquent comment rénover acoustiquement, comment rénover thermiquement,... Maintenant c'est pas facile à lire, c'est pas facile. Mais ça pourrait être, ouais je sais pas, tu demandes à ChatOpenAI de lire tous ces trucs-là, tu lui poses une question et il va chercher dedans ces documents-là, et on peut cocher de quelle source on a envie pour ne pas tomber sur des sources de bricolage brico-forum, mais de tomber sur des sources de Bruxelles Environnement plutôt. Oui je pense que ce serait intéressant. C'est la connaissance, et c'est de la transmission d'information. Mais si ce côté arbre à choix aide à dégrossir le truc, en tout cas c'est hyper intéressant.

Doctorante : Le dernier point c'était le contrôle des équipements à partir d'une application téléphone et ça je pense que t'en as parlé tout à l'heure.

R7: Oui oui.

1:12:02 > 1:25:02 [Processus d'apprentissage]

Doctorante : Et du coup le critère suivant c'est les processus d'apprentissage pour les étudiants et les professionnels de la construction. Donc c'est vraiment axé sur comment on peut apprendre l'architecture avec le BIM ou avec le numérique. Le premier point c'est la visualisation des espaces, qui est le premier point qui vient naturellement quand on pense BIM, c'est la maquette numérique, et ça on en a déjà beaucoup parlé d'à quel point ça pouvait permettre de mieux visualiser les espaces. Et du coup c'est lié aussi avec l'amélioration de la compréhension de l'aménagement des espaces. Par contre après il y a un point dont on a pas encore parlé, c'est l'apprentissage des principes de construction durable par simulation. Donc c'est-à-dire par exemple pouvoir tester l'emploi d'un matériau traditionnel avec un matériau qui est plus durable, par exemple un isolant biosourcé. Pour pouvoir faire une simulation dans le bâtiment et pouvoir vraiment comprendre qu'est ce que ça peut avoir comme différence sur le long terme, en faisant des simulations de performance énergétique sur le long terme ou des choses comme ça par exemple.

R7: Euh ouais, (réfléchit) en fait ça rejoint.. quand on répondait avant dans tout ce qui était "confort usager", on a parlé un peu de tout ça, de cette manière de modéliser, de comprendre, de voir, d'avoir un petit truc rouge qui se dit "c'est pas bon, c'est bon". A nouveau c'est la même réponse qu'à chaque fois, c'est ce côté percolation de l'information. De la théorie architecturale, ou des choses qui ont déjà été étudiées. De cette connaissance qui arrive à aller jusque là mais sur le côté... il y a un peu ce côté-là avec Totem. Avec Totem tu fais une composition de mur, il te dit "C'est bien". L'avantage c'est qu'ils ont essayé d'être assez global, mais pour être assez global ils ont du créer carrément une unité propre à eux, qui est une unité à personne parce que c'est leur calcul en interne avec Totem. L'énorme avantage de Totem c'est que c'est généralisé, c'est inter-régional donc tout le monde doit utiliser le même truc. Et que t'arrives à mettre du réemploi, t'arrives à comprendre ce qui est biosourcé, et tu pars sur une durée de vie de 40 ans qui est plus ou moins logique. Donc ça permet aussi de se dire "Je prends pas cette composition-là, je prends une autre composition", je vois comment ça impacte sur l'énergie de consommation. Ou sur l'énergie de production, et donc ça je trouve ça assez chouette et donc oui d'avoir ce côté alternative. On tend vers arriver vers ça, ça veut dire qu'il y aura une lettre générale qui sera tant pour l'énergie de consommation que pour l'énergie de production. Faut voir comment tous ces lobbies vont arriver là derrière. Je sais qu'il y a des lobbies en béton et en acier qui disent que l'aluminium est recyclé, recyclable. Et le bois soit disant il va rejeter tout son CO2. Donc il y a quand même déjà des trucs qui sont biaisés, c'est mieux que rien mais... Alors cet outil d'apprentissage, à nouveau c'est un peu ce côté "arbre à choix" ou "possibilité" où il y a un truc rouge qui se met "Tient tient c'est quand même bizarre d'aller mettre du polyuréthane là-bas, t'as déjà pensé à cet isolant-là ou cet isolant-là ?". Je pense qu'il y a tellement de gens qui ont écrit ces dernières années là-dessus que compiler toutes ces infos et pouvoir, ne fut-ce qu'avoir le petit tips.. Je sais pas si t'es trop jeune pour ça mais il y avait le petit tips outlook.. (rires)

Doctorante : Oui je vois

R7: Tu vois le petit trombone, je prends toujours cet exemple-là mais en fait c'est vraiment ce petit truc-là qui dirait "Hé t'as déjà pensé à ça ?", ou "Tiens une idée, tiens un tips". Je trouve ça assez cool, et nous, je vais faire le lien avec Ma start-up, quand je te disais qu'on présentait les matériaux et qu'on disait aux gens "Tient, cette plaque de bois qui est une porte, en fait vous pourriez la mettre sur les côtés de votre vestiaire, pour fixer un truc, vous pourriez la mettre au plafond, vous pouvez la mettre dans les hall", parce qu'il faut des plaques de protection le long des escaliers notamment dans les logements sociaux autrement ça va s'abîmer. Et donc d'arriver à ... en fait c'est de la conscientisation, de se dire à un moment si ce truc-là il vient, "Comment on va mettre de l'isolant en liège au sol, j'en ai jamais vu". Tu cliques sur une image, tu le vois. "Ah et est ce que ça se met avec du chauffage sol ? Oui/Non". "Tiens t'as une autre image, t'as une vidéo". En fait c'est d'arriver à rassembler. On aurait eu cette conversation il y a un an et personne n'aurait expérimenté ChatOpenAI on se serait dit que c'était impossible. La compilation de l'information pourrait

arriver assez facilement maintenant. Après, je sais pas le développement que ça demande, c'est pas mon métier. Mais oui d'avoir cette info qui arrive, cette possibilité, ces petits tips qui arrivent sur un des trucs je trouve ça hyper intéressant, d'autant plus pour des étudiants, qu'il y ait vraiment cet outil d'aide, d'assistant, que va leur permettre de faire les bons choix et si même ils faisaient un mauvais choix, ils auraient déjà dû passer à travers les mailles du filet, donc tu limites aussi les mauvais choix ou tu limites les mauvaises prises de décision. Je trouve ça pas mal quoi. C'est un peu comme quand tu complètes une PEB, tu peux à chaque fois dire "Je passe l'erreur, je passe l'erreur, je passe l'erreur". Mais à un moment donné tu contournes toutes les erreurs, il faut vraiment être balaise et il faut vraiment le vouloir pour te dire "J'ai rendu un truc qui était un peu contre toute attente". Et si tu suis les normes tu arrives quand même à un truc qui est pas trop mauvais. Ou qui est moins mauvais qu'avant.

Doctorante : Après on a aussi la simulation des apprentissages par immersion virtuelle, mais là c'est plus axé sur... pas spécialement les principes de construction durable mais par exemple pouvoir expérimenter différentes structures qui actuellement devraient, si on veut vraiment les expérimenter, ou en tout cas le faire sans le BIM, ou sans le numérique, il faut aller en laboratoire, ou avoir une sorte de matériauthèque dans l'école pour pouvoir voir à quoi ressemble le matériau, comment on peut le mettre en œuvre. Ou alors faire des workshops pour pouvoir tester une forme de structure et la faire en bois ou en acier pour pouvoir comparer la résistance des deux. Des choses qui se font pas souvent parce qu'elles sont difficiles à mettre en place, parce qu'elles demandent du temps et de l'organisation, alors qu'en le faisant de manière numérique on peut, enfin de manière virtuelle, on passe à côté de toute la question "se procurer les matériaux", "organiser quelque chose où tout le monde peut être présent, avoir un lieu pour le faire. Parce que là l'étudiant peut ramener le modèle chez lui et faire ses petits tests dans son coin, quand il veut en fait.

R7: Là tu parles vraiment de la stabilité, enfin des structures du bâtiment, c'est ça ?

Doctorante : Oui.

R7: Oui c'est intéressant de pouvoir de pouvoir se dire "Pourquoi vous avez pas pensé à le faire en bois, pourquoi vous avez pas pensé à le faire en... ". C'est un peu mettre de la masse où il faut mettre de la masse et de la légèreté où il faut mettre de la légèreté, le bon matériau au bon endroit. C'est exactement... en bois on dit toujours "T'as les pieds en feuillu et t'as la tête en sapin". C'est lié au bon bois au bon endroit, tu utilises pas du chêne en poutre ou en chevron, ça n'a pas de sens, mais par contre en colonne c'est beaucoup plus cohérent. Parce qu'à la compression ça reprend beaucoup plus qu'à la flexion et le sapin reprend plus en flexion. C'est des choses qui sont un peu naturelles, mais effectivement c'est des choses qui s'oublent. On essaie de faire des porte-à-faux avec des trucs qui sont pas possibles, on contraint le matériau au maximum et on fait faire des études qui sont de plus en plus compliquées. Je sais pas si la problématique elle est dans le côté de montrer des alternatives. J'ai l'impression que plus on montre des choix, plus les gens vont essayer de faire un concept pour faire un bâtiment qui est unique, qui est différent, juste par le fait que si personne ne l'a jamais fait comme ça, donc il faut le faire comme ça. Mais si personne n'a jamais fait comme ça c'est qu'il y a une raison (rires). C'est que c'est peut-être pas une méga bonne idée. Mais par contre dans le côté, là je vais défendre un peu mon école, partir du matériau et créer avec le matériau. Dans les conférences, enfin dans les intervenants (fait référence à un workshop auxquels nous avons participé tous les deux) qu'il y avait eu il y avait des gens de... Je sais plus d'où ils étaient, Annecy ? Qui avaient scanné les bâtiments puis en fonction des bois et des types de bois, lui disaient dans sa structure où il pouvait les mettre ou pas les mettre. Ça aurait été pareil avec un truc acier ou autre. Moi je suis plus sur le côté de changer le paradigme constructif et de se dire "Je construis à partir de ce que j'ai", et là effectivement ça peut me permettre dans mon aide à la conception de se dire "Attends j'ai autant de bois, et du coup si je les coupe, si je les mets, j'arrive à faire quoi comme type de structure ?". A partir d'une masse de matériaux... Là je trouve qu'il y a quelque chose de très intéressant, et du coup cette aide à la conception pourrait dire "Attention quand même, c'est du bois de réemploi", en prenant une marge de sécurité d'autant. Ou c'est de l'acier, ça n'a jamais été fait comme ça. De mettre ces plaques de verre au plafond et à ce moment-là on est dans un truc

où je trouve qu'on pousse le côté conceptuel quelque part, parce que le matériau est là, donc c'est une vraie contrainte d'architecte et c'est un jeu intéressant de créativité de pouvoir se contraindre à essayer de l'utiliser. Et pas dans un côté mégalo, de différenciation, de "J'existe sur les réseaux parce que j'ai fait un truc différent". C'est le fait de dire "J'ai un stock qui est là, et là il y a une vraie recherche intellectuelle qui est pas juste de la masturbation pour se dire que j'ai fait quelque chose qui... voilà je l'ai contraint". Et là ton aide à la conception je trouve qu'elle prend un peu plus son sens. Mais ça c'est personnel et comme je dis je défends mon école. Mais pouvoir se dire effectivement "J'ai un stock là, j'ai un stock là, j'ai ça, ça et ça, si je le passe en bois qu'est ce que ça change comme impact dans mon premier dessin ou ma première esquisse ?" Et rapidement pouvoir le faire. Si, je trouve ça intéressant. Mais à nouveau tu commencerais à concevoir et puis tu te dirais "Mais pourquoi tu veux foutre du verre là-bas ? Pourquoi tu veux foutre du chêne en chevron ?" Et là tu dis que c'est parce qu'il y a un stock de réemploi, à nouveau t'as ton arbre à choix où "pourquoi, oui, non, tips, attention feu rouge, oui, non". Et là ça justifie un processus qui est plus ou moins défini. Voilà je sais pas si je réponds très bien à ta question (rires). Je me perds un peu.

Doctorante : Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses.

R7: Non ouais c'est une manière de dire, c'est un peu bizarre ce que je dis (rires). Mais non moi je trouve ça très très intéressant ce côté de "faire avec" et "concevoir avec". Donc pour "faire avec", il faut des nouveaux outils pour "faire avec". Donc ça je trouve ça très très chouette par contre, ou se dire "Il y a une matière qui est un peu moins bonne, je suis pas sûr de sa provenance". Et là je vais avoir une aide à la conception avec une marge de sécurité qui est très cool. Ça ça peut être chouette.

Doctorante : Le dernier point qui avait été proposé d'ailleurs par une personne interviewée c'est de simuler le processus chronologique de la construction, parce qu'il évoquait le fait qu'on apprend pas énormément au cours des études d'archi l'ordre, enfin l'ordre oui mais on apprend ça de manière très théorique, on expérimente pas dans sa chair les phases de construction d'un bâtiment, en fait on s'intéresse qu'à la phase conception. Donc il trouvait que la maquette pouvait permettre de faire des simulations pour vraiment comprendre en fait le temps que prennent chacune de ces phases les unes par rapport aux autres.

R7: Ouais c'est hyper intelligent. Tu vois quand t'imprimes en 3D là, tu peux regarder ta simulation d'impression. En fait je trouve que ce serait hyper intéressant, parce que ton modèle BIM il serait fait, tout serait défini ou il te dirait "Attends ça je sais pas ce que c'est, c'est quoi ce truc ?" . Et pour voir dans la temporalité, on parle de planning de Gantt et de prévoir de bons plannings de chantier en fonction des différents intervenants qui pourraient maximiser la sécurité sur chantier, et là je trouve que ouais il y a... c'est une vraie bonne idée, au niveau d'un petit add-on ou quelque chose d'assez co' mais qui permet aussi de comprendre... Enfin moi j'aime bien regarder comment ça va s'imprimer, tu vois les layers, les couches, mais au final tu serais obligé (rires) de devoir regarder ton accélération pendant 5 minutes de ton bâtiment qui se construit, avant que ton projet soit publié ou soit pris. Si si, et puis même ça permettrait aussi de voir que c'est pas logique que la poutre se mette toute seule dans l'air avant que le mur soit là, ou en fait cette poutre-là elle vient pas durant la construction ainsi, elle vient après la construction bois ou après le parachèvement. D'avoir ces étapes-là et ça permettrait aussi de pouvoir créer des lots. Dans les marchés publics en fonction de... ouais. Et dans la planification c'est hyper intéressant, ça peut se connecter à plein de trucs donc... Là on est plus sur un truc qui peut servir aux entrepreneurs aussi, le côté Vertuoza qui pourrait être connecté... Je suis sûr qu'il y a plein de boîtes qui seraient hyper intéressés.

1:25:02 > 1:28:16 [Patrimoine culturel]

Doctorante : Ensuite on passe au patrimoine culturel, donc là je ne sais pas si t'as déjà eu l'occasion de travailler sur des bâtiments avec une valeur patrimoniale particulière. Mais c'est plutôt ciblé soit sur le côté "garder une trace", donc modéliser les bâtiments à différentes époques et avoir des bibliothèques numériques de bâtiments historiques. Ou alors plutôt en phase de maintenance, puisque le patrimoine est

déjà construit, donc dans la surveillance des bâtiments, la maintenance et l'entretien des bâtiments, ou alors le calcul pour optimiser les coûts de maintenance. Je sais pas si c'est quelque chose qui te parle ou si t'as pas trop... enfin si t'as déjà expérimenté ça ou pas ?

R7: On a refait, avec ma collègue qui est en face, on a refait une église dont le plafond était de 1600... c'est quelle date ? (demande à sa collègue) C'était avant la création de la Belgique, 1700 quelque chose non ? Enfin oui on a refait une église et on a refait une académie de musique... Oui on a refait quelques projets, elle aussi elle a fait des projets un peu plus historiques où on a utilisé des scans de modélisation, des scans de couleur aussi, on a été rescanner des vieilles couleurs pour essayer d'avoir les RAL, ça c'était assez intéressant pour le côté "trace de l'histoire" et "justesse". Après c'est pas pour ça qu'on l'a pas réinterprété mais à nouveau on part sur des bonnes datas et puis après on se permet de dire qu'on s'éparpille pas dans toutes ces couleurs-là mais on peut en mettre une en valeur qui va permettre de souligner plutôt que de tout faire en blanc. Car les plafonds étaient hyper colorés. Et aussi pour aller voir la structure avec la modélisation, et pouvoir avoir les bonnes dimensions, les bonnes quantités sur des plafonds courbés, à devoir refaire... On avait des trous, on avait des charpentes assez complexes d'église à resolidifier, beh oui ça a permis à tout le monde de travailler dans des bonnes conditions, il n'y a pas eu de problématique là-dessus. Ça se justifiait pour ça et puis même au niveau de la com', la commune était hyper contente de montrer sa maquette. Ils avaient mis un visualisateur de la photogrammétrie en ligne qui était un peu plus allégé. Et qui permettait à tout le monde dire "Regardez on fait la rénovation" et les gens voyaient un peu à quoi servait leur argent communal. Il y a un côté conscientisation qui est pas mal là-dedans. Voilà nous ça nous a servi dans le côté patrimoine culturel. Pour ça et qui est en face de moi elle l'a déjà utilisé sur des autres comme le Mardasson, ils arrivaient à voir les dalles qui étaient cassées, voir ce qui était... Voilà. Ce côté "modélisation de bons relevés" qui après sont modélisés, permettent de quantifier et permettent dans les mètres d'avoir un suivi... Mais voilà, ici c'est déjà un petit peu d'expérience dans le côté "rénovation historique", de bâtiments historiques. Et il y a également la maquette, ou la bibliothèque numérique, qui fait que par la suite c'est des bâtiments qui ont un certain patrimoine, ou un certain intérêt, et donc ils devront être entretenus, maintenus, rénovés. On repartira sur cette maquette-là, parce qu'on sait que les dimensions sont bonnes, et on voit ce qui a été rénové dans la maquette. Oui ça je trouve ça hyper intéressant sur les bâtiments comme ça, mais ça devrait presque être le cas de... si ça pouvait être sur tous les bâtiments, mais c'est déjà bien si c'est sur les bâtiments culturels.

Doctorante : Ok.

1:28:16 > 1:34:22 [Communication avec les usagers]

Doctorante : Après il reste que deux points, en fait c'est le point communication que j'ai scindé en deux parce que je trouvais que les deux approches étaient un peu différentes. C'est d'une part communication avec les usagers, et d'autre part communication entre les acteurs du projet. Et communication avec les usagers j'ai pour l'instant eu "Visualisation partagée des solutions proposés", donc c'est plutôt dans le cadre de communication avec les futurs usagers. Pouvoir avoir un support, un peu comme on le fait maintenant avec les perspectives numériques mais ici on peut carrément se déplacer dans le bâtiment, voire peut-être même avec des casques VR pour qu'ils puissent expérimenter le bâtiment avant qu'il soit fini d'être conçu, pour pouvoir impacter la conception. Et du coup intégrer la participation citoyenne pour avoir un vrai retour des usagers du bâtiment. On en a déjà un peu parlé à travers d'autres points.

R7: Oui bha oui, j'ai toujours le même avis sur ça, sur la participation citoyenne. Je trouve que c'est cool de visualiser et de montrer le truc, on demanderait la nouvelle gare de je sais pas où, de Liège elle vient d'être faite mais... Enfin voilà tout le monde peut se balader, et d'avoir une participation citoyenne et évoquer "Qu'est ce que t'aimes bien, qu'est ce que t'aimes pas comme espace ?". De mettre un pin's à un endroit que t'aimes pas. Tu vas avoir plein de datas qui vont servir à rien, et je sais pas comment on va les trier, comment on va les prioriser etc. A nouveau c'est un truc de se dire "On hésite sur quelques trucs, ça ça pourrait être

intéressant, c'est des points qui ont été relevés par la commune, c'est des points qui ont été relevés par les entrepreneurs, par les gens qu'on a consultés, les experts,...et demandons ça à la population pour avoir un avis sur tel point, tel point et tel point, où ils peuvent voter". Ca doit toujours être assez cadré je trouve, après... Ouais, je pense qu'il y a des futurs utilisateurs, de vraiment un lieu commun, un lieu d'échange, un lieu... Même les appartements on voit que les visites virtuelles des futurs appartements, avec les gens qui achètent sur plan ça fonctionne assez bien. Est ce que c'est pour autant qu'il y a une participation, non, est ce que ça a un côté com', oui. Ca a explosé là durant le covid, les visites virtuelles c'est devenu un outil qui marche super bien, maintenant d'utiliser ça comme... pour avoir un avis... C'est toujours... A nouveau on fait ce qu'on veut du post-it ou on fait dire ce qu'on veut au post-it. C'est un peu toujours ma réflexion. Mais je sais pas, c'est toujours un peu la question à se poser, c'est "Ok mais c'est pour poser quelle question et pour attendre quelle réponse ?" Et que faire de cette réponse, et comment l'interpréter après. Mais dans l'absolu je trouve ça très chouette oui. Nous a même été faire en team building le truc avec les casques de réalité virtuelle où on allait tuer des zombies. (rires) Ouais c'est super marrant parce qu'on pourrait se dire... à ce moment-là c'est peut-être quelque chose qui est peut-être un peu moins frontal, c'est se dire... Je dis pas qu'on doit aller tuer des zombies dans la nouvelle gare de Liège pour voir si elle est bien, mais par contre aller faire une escape room, ou faire... Mais à ce moment-là ça demande un énorme développement, c'est expérimenter des espaces, trouver, essayer de se déplacer le plus rapidement possible d'un espace à l'autre.. On voit comment les gens vont utiliser l'espace. Là à ce moment-là on est un peu plus dans... on les prend pas au premier degré, on est dans un truc un peu plus second degré, comment est ce qu'on arrive... C'est la même question que la participation citoyenne, c'est comment on arrive à avoir des réponses sans que les gens aient l'impression qu'on leur ait posé la question. On est à la limite de la manipulation aussi. C'est dire "Traversez la gare virtuellement le plus rapidement possible pour aller prendre votre train là-bas", et puis en fait on voit où les gens vont se planter, on voit où les gens vont entrer dans un escalator ou entrer dans un autre passant qui était là. Et là je trouve ça donne des données qui sont peut-être pas faussées parce que les gens ont l'impression de jouer et c'est ça quand je parlais de gosses en participation citoyenne, qui faussent pas leurs réponses, ou qui n'ont pas l'impression de répondre la réponse parfaite. (rires) On a déjà pas mal débattu de ça avec ma compagne, où en participation citoyenne aussi c'est... Il y a une émission sur Vivacité qui s'appelle "C'est vous qui le dites". Tout le monde a toujours un avis sur chaque sujet tous les jours, et je ne crois pas qu'il y a autant d'experts sur tous ces sujets dans toute la Belgique qui écoutent Vivacité tous les jours à 10h du matin. Et donc je pense que tout le monde a un avis sur tout, surtout un avis. Et donc si on demande l'avis aux gens j'ai pas l'impression que c'est l'avis qu'on va vouloir entendre, ou ils vont donner une réponse qui est faussée, qui sera trop lissée, qui sera peut-être pas la réalité. Tout ça il faut toujours le prendre avec des pincettes, c'est quand on fait jouer les gens... c'est un peu comme quand on nous demande de reconnaître les passages pour piétons pour dire qu'on est pas un robot. Derrière ça sert juste à aider Tesla à repérer les passages pour piétons. Est ce que c'est de la manip', est ce que c'est pas de la manip'... Mais au final les gens se concentrent, ils sont en train de jouer et ils cliquent sur le bon truc donc... J'en sais rien, voilà, c'est ma réponse par rapport à la communication, c'est toujours à double tranchant. Les publicitaires l'ont très bien utilisés pendant plein d'années.

Doctorante : Oui. Mais le côté serious game, il n'était pas encore ressorti et c'est vrai que ça peut être intéressant, ça permet de... Ca peut être un atout pour la conception, pour comprendre comment les gens utilisent l'espace. Et effectivement quelque part ça permet de communiquer avec les usagers, puisque du coup ils ont un aperçu de à quoi ça ressemblera, mais en même temps on a pas ce côté "On donne son avis" alors que finalement ils sont pas architectes en fait.

R7: Oui. C'est un peu ça, ce côté chef d'orchestre, comme on disait en participation citoyenne il faut une certaine expertise derrière qui permet de filtrer ou de calmer ou de temporiser ou de détailler certains points qui sont pas assez clairs. Et dans le "participation citoyenne" on met un peu tout le monde dedans, et souvent c'est des gens qui utilisent ça et qui sont pas formés tant aux outils qu'à la connaissance. Donc des fois on a un peu de perte d'info là-dessus.

1:34:22 > 1:39:51 [Communication entre les acteurs du projet]

Doctorante : Ok, du coup le dernier point c'est la communication entre les acteurs du projet. Et finalement c'est souvent ça qui est mis en avant par les éditeurs de logiciels, ils vendent le BIM comme un super outil de collaboration améliorée. Et en fait je l'ai résumé en deux points, c'est d'une part recenser les échanges liés au projet, et avoir une collaboration améliorée. Tu m'as dit que tu avais déjà un peu expérimenté une forme de collaboration entre bureaux avec un outil un peu BIM ?

R7: Ouais on développait simplement des étages ou des parties de bâtiment pour ne pas qu'il y ait... Oui alors c'était sur un bâtiment moitié rénovation où on a fait du façadisme et où on a tout reconstruit derrière, ça se mettait plus ou moins bien. Je pense que durant le projet ça a résolu quand même pas mal de choses, on a fait beaucoup de préfab avec des murs en béton, de la structure métallique qui a été précommandée. Donc oui ça gagne du temps et ça évite certaines erreurs. Moi j'ai été un des premiers au bureau à prôner un truc de rapport de chantier numérique parce que c'était une perte de temps exagérée. Par contre on doit toujours charger les plans, charger les trucs dedans... On peut à moitié charger des maquettes 3D mais c'est pas vraiment... Mais là ce serait intéressant alors. Où est la limite cohérente entre le mec qui se balade avec sa caméra sur son casque, est-ce qu'il voit que la réalité correspond au projet BIM, et puis en même temps il peut mettre un pin pour que ça se mette dans son rapport de chantier, que le tuyau n'est pas bien connecté sans savoir qu'en fait le mec, le sanitaire, il a fait ça sur chantier parce que c'était plus facile et qu'il y a même pas besoin de faire une remarque. Tu vois faut pas créer une usine à gaz non plus. Mais effectivement ce rapport entre... il va y avoir des remarques de chantier qui vont être faites, on va suivre des chantiers qui vont être gros, on va avoir beaucoup de remarques par chantier, faire en sorte que l'information soit diffusée... Ce genre d'outils... moi j'avais pu tester les trois, quatre grands trucs de rapport de chantier à ce moment-là donc.. on peut en parler si ça t'intéresse (rires). Et ce qu'il y a c'est qu'une fois que t'as fait tout ton rapport de chantier tu dois quand même faire ton DU, tu devrais avoir tes plans, et tes plans d'exé, et ta maquette 3D qui correspondent à ce truc-là, et donc en fait c'est faire deux fois le travail. Parce que tu dois à la fin refaire du travail qui est pas facturable, qui est pas valorisable, ou tu le fais en cours de chantier mais tu travailles plus sur des petits détails à des endroits. Je sais pas à quel point c'est utopique de dire que la maquette évolue en fonction des chantiers, et donc ça veut dire que si le sanitaire a décidé de faire un double coude dans son truc, tu vas redessiner un double coude... (soupire) . Mais par contre mettre la remarque du chantier sur la maquette BIM, et alors c'est exactement pareil lors de la création s'il y a plusieurs bureaux ou qu'il y a la stab, la TS ou les acousticiens qui travaillent, c'est pareil, de cet échange de pouvoir aller mettre un pin et quand une remarque est vue, elle est vue, elle est mise comme ok, nok, elle est faite, elle est pas faite... Il y a une réaction et une interaction. C'est un gestionnaire de tâche en fait, on est sur un truc "Odo" avec une support 3D mais... Mais oui ça reste intéressant. Parce que les process sont de toute façon trop... beh ouais trop vieux, trop obsolètes dans la construction. Penser un peu large, ça pourrait retomber sur un juste milieu qui est pas mal. Bizarrement, je prends toujours cet exemple de Vertuoza mais c'est quand même une boîte qui... je sais pas si tu vois en fait ce truc-là ?

Doctorante : Non je ne connais pas. J'ai noté mais j'ai pas encore été checker.

R7: Ben ils font vraiment un logiciel complet pour les entreprises du bâtiment, c'est pas du tout orienté architecte mais eux ils savent faire des devis, ils t'aident du suivi de chantier, dans les commandes de tes matériaux, de pleins de trucs. Et moi quand ce truc est sorti je me suis dit "Avec tous les vieux entrepreneurs qu'il y a, ils vont jamais faire ça". Et en fait voilà, le 13 octobre 2022 ils viennent de lever 4 millions sur Trends Tendances. Donc c'est un truc qui est en train d'avoir un monopole sur les entreprises, qui est super bien parce qu'on entre dans une ère 2.0 et ça faisait longtemps qu'on aurait dû y entrer. Et on dit souvent que c'est les entrepreneurs qui sont réfractaires mais nous on voit de plus en plus que même dans le réemploi de matériau, ou changer la manière de construire ou de concevoir, c'est souvent les archis qui sont plus compliqués à convaincre. C'est assez bizarre. Je pensais qu'ils seraient plus ouverts et que les démolisseurs,

les entrepreneurs seraient assez figés sur leurs positions. Et là ce qu'on vient de rendre avec Digital Wallonia c'est avec trois entrepreneurs, et il y a un démolisseur dedans qui est hyper pour faire du réemploi et de la circularité. Par contre la plupart des archis sont pas du tout sensibles à ça. Des fois, l'outil Vertuoza par exemple je trouve que c'est un très bon exemple de dire "On a numérisé quelque chose et vous pouvez charger vos plans, vous pouvez charger la maquette 3D". Je pense à la maquette 3D de l'architecte, pouvoir faire des annotations dessus, dispatcher à vos équipes, faire des plannings de chantier, diagrammes de Gantt et tout. Et là c'est un truc qui est peut-être intéressant par rapport à tout ce que tu disais avant avec le côté constructif avec la communication des entrepreneurs. Mais ça marche, ça a pris, ils ont de plus en plus d'utilisateurs, ils sont dans tous les salons dans toutes les foires, ils sont super cools. Moi j'ai discuté avec eux. Mais bizarrement j'aurais dit que c'étaient les applications de chantier qui seraient montées en flèche par rapport à Vertuoza et j'ai l'impression que Vertuoza est devenu comme une évidence pour tout le monde. Et t'as toujours beaucoup d'archis qui font des rapports en Word.

1:39:51 > 1:44:31 [Motivation à la durabilité]

Doctorante : Je sais pas si t'as l'occasion de discuter avec ces archis qui sont un peu réfractaires, mais ils avancent quoi comme arguments pour dire que ça les intéresse pas ?

R7: (rires) J'ai plein de théories moi, c'est parce que je suis architecte et ma collègue devant moi est architecte. Je sais pas, je crois qu'il y a un manque de formation obligatoire, il y a un peu un côté déconnexion de la réalité aussi, parce qu'on travaille tout le temps avec les mêmes entrepreneurs, avec les mêmes clients, il n'y a pas de remise en question. Alors qu'un entrepreneur doit tout le temps tout le temps se tenir à jour de plein de choses, tout le temps se reformer, tout le temps former ses hommes. J'ai pas l'impression que les archis... Une fois qu'il y a un bureau qui roule un peu, qu'ils ont assez de clients, qu'ils font tout le temps un peu le même genre... Une fois que t'as une recette qui fonctionne bien avec quelques types de matériaux que tu mets en oeuvre de telle manière et qui font un peu ta signature, tu vas pas te remettre en question 26 fois. Parce que t'es aussi très "illoiement" de "Monsieur l'Architecte" qu'on lui doit sur chantier, donc il y a ce côté très "gros cou", et donc on a l'impression de tout savoir parce qu'on est censé tout savoir sur chantier et qu'on doit faire semblant de tout savoir sur chantier. Il faut être très humble pour pouvoir aller se reformer à un autre moment. Je sais pas, et puis il y a ce côté... nous ce qu'on nous a dit à l'Union Wallonne des Architectes c'est que quand on... par exemple les inventaires en réemploi sont quelque chose qui va devenir obligatoire, c'est au gouvernement wallon en deuxième relecture auprès du ministre. Et les personnes qui bloquent c'est notamment l'Union Wallonne des Architectes. Parce qu'ils ont l'impression que ça va être encore un document administratif qu'on va ajouter aux architectes. Ce que je comprends tout à fait, le CertIBEau c'était pareil, les PEB c'est encore des trucs qu'on rajoute. Et on fait de moins en moins d'architecture, on fait de plus en plus d'administratif. C'est là-dedans qu'il faut pas se perdre, c'est des outils qui aident et pas des outils qui complexifient. C'est ça quand je parle d'usine à gaz. Que le BIM ne devienne pas un truc obligatoire, et qu'en fait pour un demi projet qui aurait pris une journée à dessiner vite fait sur un plan, on doive faire un relevé de points par un centre BIM, qui va amener des problèmes dans un truc de restauration qui n'auraient peut-être pas eu lieu d'être de devoir le faire. Donc c'est surtout la bonne technologie au bon endroit. Je crois que eux sont fort réfractaires par rapport à ça, il y a des gens qui... ça prend déjà assez de temps d'avoir une grosse expérience, d'avoir des bons entrepreneurs, d'avoir des chantiers qui roulent, d'avoir un chantier où il y a pas trop de problèmes. Et en plus on nous demande des trucs supplémentaires, on nous demande de nous former ou aller dans un autre inconnu, dans des situations qui sont souvent très très précaires quand même, que ce soit pour des jeunes architectes ou pour des bureaux où ils sont payés à moitié, ou ils sont à moitié en dette même après 40 ans de bureau. Il y a plein plein d'hypothèses mais oui moi j'aurais eu tendance à me dire... Mais c'est marrant parce que Jérôme, mon collègue que t'as rencontré, et moi-même on a à nous deux quand même beaucoup de contacts architectes parce que moi de mes études et lui de son travail PEB. Il a travaillé avec beaucoup beaucoup de bureaux. Dans la province de Liège on en connaît quand même vraiment ... s'il y a un architecte qu'on nous cite et



qu'aucun de nous deux le connaît c'est quand même très rare. On a envoyé Ma start-up, puisqu'on existe depuis un an maintenant, et bien on a envoyé tout des mails, ils sont tous au courant, mais il y a très peu de gens qui reviennent vers nous. Et pourtant nos gros contacts c'est pas les entrepreneurs mais c'est eux les premiers qui viennent avec des propositions de chantier, d'expérimentation, de construire avec, de « qu'est ce qu'on fait de nos déchets ? ». Alors eux ils ont peut-être un vrai gain mais je trouve que pour l'architecte, quand on voit que depuis deux ans les matériaux ont explosé, se dire qu'il y a une alternative qui permet de réduire les coûts... Enfin voilà je fais le parallèle avec moi, les trucs que je connais. Mais je pense que c'est des clés de réponse par rapport à tout ça. Pourquoi est ce que je veux mettre ça en place dans mon bureau, est ce que ça va me coûter de l'argent, est ce que ça va me faire gagner du temps, est ce que ça me fait sortir de ma zone de confort... Et tout ça c'est des freins à lever à chaque fois en plus, que nous aussi on essaie de voir comment lever. Enfin voilà. Je trouve que toutes les solutions côté durabilité, côté... C'est l'exemple avec la préfabrication, pourquoi il n'y en a pas plus qui préfab' des murs, que ce soit en bois, en béton, en acier etc ? Et qu'on continue à avoir un maçon en plein mois de novembre qui est à mettre un bloc en béton l'un sur l'autre. Parce qu'il y a un certain confort, et qu'on a toujours fait comme ça, et qu'on fera toujours comme ça, et que ma responsabilité décennale est prise là-dedans. Et donc s'il y a un contrôle qui est pas là, ou un truc qui est un peu nouveau, il y a un flip et vu qu'ils ont tous les pouvoirs sur un chantier c'est un peu normal aussi parce qu'il y a une grosse responsabilité. Mais ouais il y a moins d'évolution mais je pense oui effectivement qu'il y a des freins que moi j'avais pas réalisés il y a six ou huit mois. Les architectes freinent vite des quatre fers. C'est mon avis, il ne tient qu'à moi (rires) . J'ai parlé énormément même moi je me fatigue (rires) .

1:44:31 > 1:50:02 [Outro]

Doctorante : Après je vais devoir tout retranscrire (rires) . Il faut savoir que dix minutes de d'interview c'est une heure de retranscription (rires) .

R7: Ben bonne chance.

Doctorante : Merci. Non mais en vrai les entretiens les plus longs sont très intéressants en général parce que...

R7: Ouais c'est de la fausse gentillesse ça ! (rires)

Doctorante : Non non c'est vrai, parce quand on répond juste à la question premier degré et qu'on rentre pas en introspection pour répondre, on répond de manière superficielle, alors que quand on blablate un peu trop il y a peut-être des choses qui sortent et ne seront pas utiles mais finalement on rentre en profondeur dans ce que tu penses vraiment. Donc finalement c'est ça que je cherche. Du coup là on a fait le tour de mon questionnaire, à la fin je rappelle toujours que du coup les propos seront anonymisés dans le sens où ils seront associés à un profil plutôt qu'à un nom.

R7: Ouais.

Doctorante : Et donc je n'utilise pas l'audio ou la visio pour communiquer en fait, ce sera même pas en annexe de ma thèse, c'est juste les retranscriptions qui seront en annexe. Et alors je voulais te demander, tu m'as parlé tout à l'heure de Seco, tu m'as dit qu'il y avait des gens intéressants là-bas. Je suis encore en train de rechercher des profils, je sais pas si t'as des noms de personnes qui pourraient être d'accord de répondre à ce questionnaire et dont tu penses que l'avis pourrait être intéressant ?

R7: Je trouve qu'avoir un avis international, je te parlais de mon collègue, c'est quelqu'un que moi je trouve hyper intéressant mais si moi je parle beaucoup tu vas pas t'en sortir avec lui et c'est un des promoteurs de ma compagne. Tu peux un peu regarder ce qu'il fait. Et quand je te parlais de participation citoyenne il y a 35, 45 ans, c'est des gens qui sont très intéressants mais il est hyper actif et il a un problème de concentration

donc à mon avis il va partir en ... vraiment très très compliqué. Tu vois c'est un conseil... un bon nom mais tu m'en voudras peut-être après. Et chez Seco, oui on a notamment été en contact avec la personne qui a lancé la partie sur la circularité, et moi j'ai déjà travaillé avec deux ou trois personnes, je peux essayer de retrouver des contacts. Autrement tu peux directement aller au contact vers eux, je sais pas normalement sur leur site... ils sont vraiment beaucoup mais oui c'est un des plus gros organisme de contrôle en Belgique donc ça peut être intéressant, plus pour le côté accident de travail. Ou prévoir les choses, les procédures. On parle de 18 000 personnes quoi (regarde sur son écran d'ordinateur) .

Doctorante : Tu as parlé aussi d'un architecte je pense ?

R7: Ouais lui c'est un archi qu'on a rencontré deux ou trois fois. Il est architecte, il fait de l'inventorisation, il a tout ce côté numérisation, nuage de points... Il est très très "BIM/maquette numérique". Et bizarrement nous on a déjà travaillé aussi avec lui aux Ateliers, on a un contact avec lui avec Ma start-up depuis quelques temps, on essaie de voir s'il y a une synergie qui peut se faire avec un gros gros groupement d'entreprises et groupement de bâtiments pour justement avoir ce côté "digital twin" et inventaire des bâtiments en amont. Donc ça c'est un truc chez nous. Mais qui pourrait être intéressant aussi dans toi ce que tu dis, dans ce côté durabilité, qu'est ce qui a marché qu'est ce qui a pas marché. Et d'arriver à collecter toutes ces infos, pour le moment on décide de faire le projet on a déjà pas mal de data. Lui il travaille pour... je sais plus, il a deux ou trois boulots un peu complémentaires, mais ouais c'est quelqu'un qui est intéressant, qui est sur Bruxelles. Il aime bien parler, il est très intéressant aussi, il l'a fait la dernière fois pour Embuild, il est venu et à mon avis il viendra sans problème. Enfin il te répondra sans problème un truc, mais oui c'est dans les gens que je connais un peu plus dans le BIM.

Doctorante : Ok. Ok ça va, merci beaucoup de m'avoir donné ton temps.

R7: Ben ouais tiens-moi au courant pour la suite, et moi de toute façon je dois te tenir au courant pour le rendez-vous.

Doctorante : Oui.

R7: Et pour la suite de ta recherche tiens-moi au courant, si on peut lire après c'est toujours intéressant.

Doctorante : Ca va ça marche.

R7: Cool, à bientôt.

Doctorante : Ouais merci, à bientôt.

00:00 > 01:04 [Introduction]

Doctorante : J'ai un guide d'entretien, on va le suivre au fur et à mesure. A priori ça dure une heure en général, certains prennent moins, certains prennent plus, ça dépend mais en moyenne ça dure plus ou moins une heure, mais si à un moment vous devez quitter il n'y a pas de soucis il faut juste me prévenir, mais je peux comprendre que ça puisse durer trop longtemps à un moment.

R8: D'accord.

Doctorante : Merci d'avoir accepté de participer à cette enquête, j'ai l'ai dit tout à l'heure mais je le redis pour l'enregistrement, vous avez accepté que ce soit enregistré. Il y a trois parties dans cet entretien, la première partie va servir à cerner votre profil, la deuxième partie elle sert à vérifier qu'on a la même définition des concepts que j'utilise, et la dernière partie qui est un peu le cœur du sujet pour moi, c'est la partie qui va questionner vos habitudes et vos idées quant à la mise en place d'une forme de durabilité dans les pratiques BIM.

R8: D'accord.

01:04 > 03:59 [Profil]

Doctorante : Ma première question, c'est dans la partie profil, c'est qu'est ce que vous avez suivi comme formation et combien d'années d'expérience vous avez dans le milieu de la construction ?

R8: Alors moi j'ai un master en architecture, suivi d'une année de HMONP (Habilitation à la Maîtrise d'Oeuvre en son Nom Propre) , et j'ai fait une année d'école d'ingénieur dans un master du CESI, sur le management de projet en BIM. C'était une année en alternance, donc en supplément, et le nombre d'années, je suis diplômée en architecture depuis 2014, du master, et depuis j'ai travaillé 4 ans dans un bureau d'études où j'ai fait à la fois du travail sur des logiciels BIM, puis BIM manager sur de nombreux projets. Et après je suis repartie en agence d'architecture donc là ça fait 5 ans que je travaille en architecture.

Doctorante : Ok Concernant votre utilisation du numérique vous me disiez tout à l'heure que vous avez un profil BIM manager au sein du bureau dans lequel vous êtes actuellement, donc on peut considérer que vous avez une très bonne maîtrise du BIM ?

R8: Oui oui je pense, après je pense que je suis dans une agence où les projets, il y a de moins en moins de demande je trouve vis à vis du BIM. On le fait un peu plus de manière innée, mais on l'utilise plus comme j'ai pu l'utiliser dans le bureau d'étude auparavant sur toute la durée de vie du projet, même pour l'exé ou pour après. Je le fais plus actuellement mais je l'ai vu, je sais ce que c'est, c'est juste qu'on le fait plus à l'agence.

Doctorante : Ok. Par rapport à ce que vous venez de me dire là, c'est parce que les besoins de l'agence ne sont pas les mêmes que les besoins du bureau d'étude dans lequel vous travailliez précédemment ?

R8: Non c'est l'accès à la commande, on a plus de commandes qui nous demandent... On le met en pratique, en fait nous on travaille de base sur Revit, c'est ça notre logiciel principal qui nous permet de faire du BIM. Et après on travaille avec des bureaux d'études qui travaillent aussi en BIM. Donc on fait les échanges sans qu'il y ait de demande particulière à ce niveau-là. Donc c'est du niveau 2. Après on a pas de demande de la part de notre maîtrise d'ouvrage de récupérer quoi que ce soit comme information, et en exé en général c'est pas vraiment suivi. Enfin nous on continue à le faire parce qu'on doit faire notre DOE et comme de toute

façon on est sur Revit, on fait évoluer la maquette. Mais on a pas des entreprises en exe qui suivent là-dessus, parce que justement ça fait pas partie de la commande et donc c'est pas mis dans les pièces du DCE. C'est pas une demande au niveau des entreprises donc il n'y a pas de suivi derrière.

Doctorante : Ok.

03:59 > 06:59 [Définition des concepts] [Concept architecture durable]

Doctorante : On va rentrer dans la partie où on va parler un peu des définitions que j'utilise et du coup je voudrais savoir, vous m'avez dit tout à l'heure que vous êtes plus axée BIM que durabilité, mais je voulais savoir ce que vous vous mettez comme mots-clés derrière le concept d'architecture durable ? Pour vous, qu'est ce que ça vous évoque ?

R8: Oui c'est vrai, c'est vrai que c'est un peu plus large peut-être que ce que.. Moi direct ça m'évoque l'utilisation de matériaux un peu biosourcés, mais en fait aussi on fait beaucoup de réhabilitation dans mon agence. Et on utilise le BIM pour y arriver, et ça ça fait partie de faire un développement d'architecture durable, puisqu'on conserve l'existant et on le transforme pour avancer. Mais de premier abord c'est vrai que je pense plutôt à des matériaux comme la construction bois, et nous on est quand même assez souvent..., quand on fait du neuf on reste sur du béton et c'est pas très durable (rires).

Doctorante : Et vous associez quand même le BIM ? Pour vous le BIM peut être une plus-value pour faire un bâtiment durable ?

R8: Oui oui, pour de la réhabilitation c'est hyper pratique, et puis surtout on travaille sur des projets un peu complexes, et quand on a 5 corps de bâtiments de périodes différentes, de niveaux différents et tout ça, le BIM c'est vraiment une grosse aide pour travailler dessus.

Doctorante : Et quel est le point qui fait que c'est un atout par rapport à un processus classique ? Quel est le point principal ?

R8: Je dirais que... nous déjà on reçoit toujours, c'est quasiment systématique quand on travaille sur de l'existant, on reçoit une maquette géométrique. Une maquette BIM, donc on commence déjà à avoir un processus dès ce niveau-là. Et ça nous permet en fin de compte de rentrer beaucoup plus rapidement dans le projet parce qu'en fait les éléments sont déjà tous présents. Et on est direct dans l'appropriation des complexités et des choses qui sont liées au bâtiment. Enfin voilà on a tout sous la main.

Doctorante : Ok, donc pour vous l'architecture durable c'est principalement, ce qui vient en premier c'est les matériaux biosourcés, mais c'est aussi la durabilité dans le temps, puisque vous parlez de réhabilitation.

R8: Oui.

Doctorante : La définition que j'utilise, c'est quelque chose que j'ai essayé de faire très global parce que comme vous l'avez dit tout à l'heure ça peut être plein de choses et donc j'essaie de rester très large pour ne pas omettre quoi que ce soit. Ce que j'utilise comme définition c'est une architecture qui est socialement équitable, écologiquement soutenable et économiquement viable, ça c'est basé sur la définition du développement durable, qui va du low-tech au high-tech et qui s'organise autour du concept de soutenabilité qui met à la fois l'impératif de durabilité des projets dans le temps, et celui d'acceptabilité sociale et environnementale. Donc c'est vraiment organisé autour des trois piliers, social, écologique et économique.

06:59 > 09:04 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM]

Doctorante : Ma question suivante, mais je pense que vous avez déjà un peu répondu, c'est quelles thématiques on peut traiter via le BIM pour avoir une construction durable. Vous me parlez de la réhabilitation, est-ce que vous en voyez d'autres ? Pour lesquelles le BIM peut être une plus-value ?

R8: Je pense que dans des processus de conception ou de construction un petit peu... avec du préfab, des matériaux bois, des éléments qui sont préfabriqués et où l'entreprise va peut-être elle-même avoir un processus qu'elle a développé et qui permette d'utiliser le BIM et d'aller plus vite, enfin que ce soit un peu rationalisé, ça peut être pratique. Après moi je l'ai pas utilisé dans cet ordre-là donc je saurais pas trop en parler, sinon après moi je dirais que c'est plutôt le côté social. Enfin social, c'est à dire que ça aide vraiment à communiquer avec tout le monde, on sait de quoi on parle, on peut le montrer de plein de façons différentes. Quand les choses sont faites au préalable ça prend tellement moins de temps de communiquer les informations... Ça c'est une aide précieuse. Mais c'est moins lié au durable.

Doctorante : A communiquer avec les autres acteurs du projet ou les usagers ou les deux ?

R8: Les usagers moins parce qu'en général de toute façon c'est des exports qu'on va leur présenter, on va jamais... Enfin si ça va arriver de leur présenter la maquette mais ça prend trop de temps de nettoyer et de faire quelque chose de propre, et du coup ils se perdent un peu dès qu'ils voient la maquette en mode Revit. Donc on préfère faire des exports et lisser le rendu qu'on va leur présenter. Par contre dès que c'est des personnes avec qui on peut parler plus techniques et où on s'en fiche qu'il y ait des lignes un peu dans tous les sens, tout ce qui est... Nous on travaille beaucoup avec des promoteurs, donc ça reste quand même des professionnels donc on peut quand même échanger sur cette base-là. Les bureaux d'études évidemment et puis les entreprises aussi.

09:04 > 10:52 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale]

Doctorante : On vient d'en parler aussi un peu mais, comme il y a ces trois piliers, il a fallu que j'en choisisse un. Et je me suis concentrée sur la durabilité sociale justement. Pour moi la durabilité sociale est au même niveau d'importance que la durabilité écologique ou économique, et du coup c'est parfois un sujet qui est moins abordé et moins traité, et c'est pas toujours facile de savoir à quoi ça correspond. Donc à nouveau je voulais savoir ce que vous vous mettez comme mot-clé derrière ce concept de durabilité sociale ?

R8: (réfléchit) (rires) J'ai du mal à associer durabilité sociale avec le monde de l'architecture. (rires) Je le dissocie un peu, c'est-à-dire que pour moi on fait de l'architecture qui va peut-être proposer des espaces de sociabilité ou des espaces qui vont être accessibles, mais il y aura toujours un acquéreur derrière qui va payer. Donc au niveau classe sociale en tous les cas, quoi qu'il arrive c'est jamais... enfin je sais pas. Durabilité sociale... Je sais pas trop quoi mettre derrière ce terme-là (rires) .

Doctorante : C'est souvent la réponse que j'ai à cette question. En fait même moi je n'ai pas encore vraiment de définition précise comme je l'ai pour l'architecture durable, donc j'utilise plutôt des mots-clés pour l'instant pour parler de ça. Et les mots-clés que j'emploie c'est bien-être, participation, accessibilité, relation humaine et équité. Et c'est pas exhaustif, c'est juste des pistes pour que vous ayez ces mots-là en tête pour continuer. Là je vais vous envoyer un document par mail.

10:52 > 15:02 [ Pas de thématique]

R8: Je ne suis pas sur ma boîte mail, si vous pouviez le mettre dans la conversation ?

Doctorante : Ah oui je peux faire ça effectivement. C'est le support que j'utilise pour la suite de l'entretien. Vous parvenez à y accéder ?

R8: Il me demande de me connecter.

Doctorante : J'ai pas restreint l'accès normalement.

R8: J'arrive pas à le télécharger en fait, c'est pour ça. Il a peut-être pas fini de charger. Sinon vous pouvez peut-être me faire un partage d'écran ?

Doctorante : Oui je peux faire ça. Voilà, vous le voyez ?

R8: Oui oui c'est bon.

Doctorante : Et vous avez bien un seul écran ?

R8: Oui.

Doctorante : Ok ça va. Donc ce tableau-là il recense dans la première colonne des critères de durabilité sociale, donc par exemple le premier c'est « sécurité », ensuite on a « le confort des usagers », on a « les processus d'apprentissage » et puis on en a d'autres, il y a deux pages. Ensuite dans la deuxième colonne on a les possibilités d'interaction avec le BIM. Ce document-là il a été construit à partir de la littérature, donc d'études qui ont été faites, qui ont confronté le BIM à ces critères de durabilité sociale et qui ont pu vérifier ce qui se faisait ou ce qui pourrait se faire, et moi je l'ai complété avec des retours que j'ai déjà eu dans mes autres entretiens, donc les tirets c'est ceux issus de la littérature et les petites étoiles, qu'il y en ait une deux ou trois ça ne change rien c'est juste un code pour moi, pour me rappeler qui a dit quoi, c'est des choses qui sont issues des autres entretiens. Et donc ce qu'on va faire c'est qu'on va parcourir ces critères, et je vais vous demander de les organiser sous forme de « passé, présent, futur ». Donc est ce que vous avez déjà été confrontée à ça par le passé, est ce que vous l'êtes encore actuellement, est ce que vous pensez que c'est un critère qui va se développer dans le futur, voire même au-delà un critère idéal qui serait génial si ça se développait mais pour l'instant on peut pas parce qu'il y a des freins, qu'ils soient économiques, sociaux, techniques, peu importe. L'idée c'est vraiment de classer ces critères selon « passé, présent, futur », voir « idéal » et si ça vous inspire des critères supplémentaires, si ça vous fait penser à d'autres choses que vous avez vues ou que vous pensez qui pourraient exister... Moi le but c'est de... là j'ai déjà fait quelques entretiens donc je commence à avoir beaucoup de critères, surtout « sécurité » qui est très long, les autres le sont moins. Mais le but de cet entretien c'est aussi de faire ressortir de nouvelles choses mais si rien ne vous vient c'est pas grave, j'ai quand même déjà beaucoup de choses qui sont sorties. On va les passer un par un comme ça vous savez réagir après, et si ça ne vous parle pas du tout ou si ça vous semble pas réaliste vous pouvez aussi le mentionner.

15:02 > 32:08 [Sécurité]

Doctorante : Le premier critère de durabilité sociale c'est celui de la sécurité, et le premier usage c'est l'utilisation des données des précédents chantiers pour pouvoir identifier les risques et les accidents fréquents.

R8: Oui ça je pense que c'est déjà possible de le faire, après c'est plus du tableur Excel que.. Pour moi c'est ça, avoir un tableau Excel ou relier ça au BIM ça revient un peu peut-être au même. Oui ça permet de placer une pastille sur un plan mais je sais pas si le BIM est... je pense que c'est déjà possible et que ça se fait déjà, je suis pas sûre qu'il y ait besoin du BIM pour ça.

Doctorante : Ok. Le deuxième point c'est la vérification des règles de sécurité. A ce stade-là c'est en phase de conception.

R8: Oui oui, ça oui c'est déjà le cas. C'est présent oui.

Doctorante : Présent et ça fonctionne correctement ?

R8: Après nous on a pas fait tous les critères. On pourrait avoir des choses qui clignotent directement avec Dynamo, qui nous dit que entre notre cage d'escalier et la porte de désenfumage ou la porte la plus éloignée on a pas les bonnes distances ou ce genre de choses. On l'a pas mis en place mais on les vérifie déjà grâce à l'aide du BIM. Enfin de notre conception... c'est ça qui est un petit peu la notion, c'est du BIM niveau 1 selon moi. En vérification. On a pas mis en place de règles pour que ça se mette systématiquement en surlignage, par contre on vérifie en effet les règles avec.

Doctorante : Ok. Le point suivant c'est l'estimation du coût des équipements de sécurité.

R8: Equipement de sécurité... Alors ça c'est du futur très proche mais ça pareil on le fait pas directement avec le BIM. J'ai eu une boîte qui l'a fait. Enfin c'est pas vraiment équipements de sécurité. Vous mettez quoi derrière ?

Doctorante : Ca peut être lié à tout l'équipement nécessaire en phase chantier par exemple, mais ça peut aussi être en phase d'exploitation, où vont être situés les extincteurs ou même où vont être situés les plans d'évacuation, des choses comme ça.

R8: Oui oui d'accord, c'est du comptage en fait plutôt, l'estimation du coût. Parce qu'après il faut mettre le coût en face. Enfin c'est du futur proche, voire c'est du présent pour certaines boîtes c'est juste que nous on le fait pas c'est sûr. Mais je pense que ça c'est déjà du présent pour pas mal de personnes.

Doctorante : Après les deux points suivants ils sont un peu liés, c'est localisation sur le chantier en temps réel des ouvriers et des équipements, et du coup ça nécessite l'utilisation de capteurs dans les casques des ouvriers.

R8: Ok. Ca je dirais pour moi que c'est du futur, après comme je gère pas de chantier, ça me concerne pas, et ça me concernera jamais (rires) . Mais je pense que c'est du futur encore, ou alors il y en a qui le testent ? Je sais pas vous avez des retours là-dessus ?

Doctorante : C'est assez mitigé, les capteurs dans les casques ont a pas eu des capteurs avec une caméra ou des choses comme ça, mais localiser sur le chantier en temps réel j'ai des personnes qui m'ont dit qu'ils avaient entendu que ça se faisait ailleurs, mais qu'ils n'avaient pas expérimenté. Par contre ce qui me ressort souvent quand je sors ce critère-là c'est les problèmes de sécurité des données, de surveillance, est-ce que l'ouvrier va accepter et être collaboratif.

R8: Ah oui.

Doctorante : Collaboratif sur le fait d'être surveillé en permanence sur où il est. Par contre on ne sait pas vraiment savoir ce qu'il fait, mais s'il ne bouge pas du tout et qu'il est sensé être mobile sur le chantier, forcément on sait qu'il n'est pas en train de faire ce qu'il est sensé faire. Donc il y a ce côté-là.

R8: D'accord. Moi si j'ai eu, enfin ils utilisaient pas le BIM, mais j'ai travaillé sur une station de métro enterrée, et au moment du gros oeuvre, c'était encore à la mano, c'était pas du BIM, mais les ouvriers devaient pointer sur le fait qu'ils rentraient sur le site souterrain, et ils dépointaient quand ils sortaient du site, c'était pour savoir quand on fermait les équipements, s'il restait pas quelqu'un dessous, s'il y avait quelque chose qui s'effondrait de savoir le nombre de personnes qu'il pouvait y avoir. Donc sans forcément être friqué, le fait de savoir que quelqu'un va dans un endroit et y intervient, ça permet aussi d'assurer la sécurité. Je sais pas de quelle manière on pourrait le lier au BIM, ça me paraît un peu poussé, après je pense que ça peut être informatisé après est ce que ça doit être "bimisé" disons, je ne sais pas. Parce que eux c'était encore à la mano, ils mettaient leur carte d'ouvrier sur un panneau d'affichage et ils la récupéraient en repartant.

Doctorante : Oui. Après ça on a « visualisation des espaces de sécurité requis pour manipuler les équipements ».

R8: Ah oui bah ça oui (rires) . Ca c'est le présent, on le fait oui.

Doctorante : Et du coup c'est un peu lié aussi mais l'identification des conflits horaires entre équipes et équipements lourds, en fonction de l'espace qu'ils prennent est-ce qu'ils sont...

R8: Les conflits horaires entre équipes...

Doctorante : En fait il pourrait y avoir un équipement dangereux qui nécessite une expertise pour être utilisé et qu'on voudrait éviter qu'à ce moment-là il y ait des personnes non-expérimentées qui soient à cette zone-là du chantier.

R8: Oui d'accord c'est dans une dynamique chantier. Nous on met la grue mais on met pas les horaires (rires). Oui ça c'est vraiment une pratique chantier proprement dite, qu'est ce que je dirais... « identification des conflits horaire », potentiellement ça ouais pourquoi pas, je pense que il y a peut-être du futur très proche voir du présent pour certains.

Doctorante : Et du coup vous disiez que vous vous placez la grue ?

R8: C'est du conflit de positionnement, quand on fait le pic on a besoin de voir sur le plan son emprise, en fait par exemple si elle est passée à un endroit, en fonction de l'évolution du chantier dans le temps on se rend bien compte comment ça va pouvoir se faire. Mais c'est pas une question d'horaire mais plutôt de planning chantier, par exemple si on a trois bâtiments, on mets où est la grue, qu'est ce qui va pouvoir être accessible ou pas, comment ça va se... Mais on est trop en grosse maille je dirais en conception, c'est plutôt l'entreprise derrière aussi qui pareil va peaufiner ce genre de choses mais ça nous donne une première approche, on le fait ça. Après c'est bien parce que du coup ça nous permet de la voir direct en hauteur, avec la maquette on se rend direct compte s'il y a des choses qui vont bloquer si jamais on avait la grue en hauteur. Quand on échange en phase d'attribution de marché, selon les entreprises avec lesquelles on discute, si c'est un sujet qu'on a identifié comme étant une future problématique disons, on va direct leur en parler, ils vont nous dire eux ce qu'ils peuvent avoir comme, enfin j'ai pas lu le sujet mais je suppose qu'il y a des hauteurs de briques différentes et du coup ils vont nous dire ce que eux peuvent faire en phase chantier et ça va rentrer dans la ligne de compte de "va pouvoir répondre au projet" ou "va pas pouvoir répondre au projet" pour faire les choses.

Doctorante : Ok. Le point suivant c'est la gestion des interventions en cas d'incendie. Donc là plus en phase d'exploitation, c'est vrai qu'il y a eut plusieurs points sur la phase chantier.

R8: Alors nous on va avoir en cas d'incendie sur nos plans tout est localisé, après peut-être que via le BIM on peut rentrer de l'information que quelqu'un peut récupérer sur un tableur Excel derrière et puis... non j'avoue que je sais pas trop ça. Comment ça peut aider... Ce serait un peu le principe de mon casque que je vous ai dit tout à l'heure pour savoir qui est là à quel moment mais du coup c'est un écran qu'on met là où on sait qu'il y a un sas où les gens vont aller se réfugier s'il y a un incendie. Je sais pas trop ça. Futur lointain (rires) .

Doctorante : Ensuite on a du coup en phase d'exploitation « l'entraînement et la formation des usagers aux règles de sécurité ». En se disant qu'avec le support visuel on pourrait peut-être les aider à se repérer, se substituer ou compléter le plan d'évacuation.

R8: Oui, au plan d'évacuation ou même faire une simulation en fin de compte de ce qu'il faut faire en cas de problème et du coup vu qu'on a déjà la maquette il suffit de faire un petit film pour montrer vers où ils doivent aller, comment ils doivent accéder à certaines choses. Ca je pense que c'est déjà faisable. Je l'ai jamais fait parce que c'est pas lié à ma pratique mais ça demain je donne ma maquette à quelqu'un il peut faire ça facilement.

Doctorante : Après on rentre dans les points qui m'ont été donnés en interview. On m'avait mentionné la modélisation des aménagements liés à la sécurité, mais déjà en phase conception. Donc déjà modéliser les échelles de secours, les lignes de vies, des choses comme ça.



R8: Oui ça on fait.

Doctorante : On m'avait aussi parlé de modéliser les équipements de chantier, mais la personne estimait que c'était à l'entrepreneur de faire ça, des équipements de chantier qui sont peut-être provisoires ou mobiles, donc par exemple des échafaudages, des gardes-corps, des zones de stockage, des nacelles aussi.

R8: Oui je pense que pareil, l'emprise de la nacelle nous on va regarder si elle passe, si à un moment donné voilà, mais pareil je pense que c'est plutôt l'entrepreneur, ou la personne qui va suivre le chantier, qui peut le faire. Mais oui oui ça peut se faire s'il y a du BIM en chantier ça se fait facilement.

Doctorante : Vous dites ça parce que vous l'avez déjà vu ?

R8: Nous on positionne nos échafaudages sur nos PIC, pareil on est toujours sur ça, je positionne les échafaudages, les zones de stockages, tout ça. Après c'est de la 2D, j'ai pas eu besoin de voir l'emprise mais je pense que ça peut être intéressant pour quelqu'un, de faire évoluer par exemple pour une communication avec ses équipes, le positionnement de comment il veut faire sur un chantier compliqué. Le positionnement des échafaudages en fonction du planning, justement des gardes-corps à rajouter, si ça peut être intéressant de le voir évoluer avec l'aide de la maquette. Après, moi les PIC que je fais ils sont plus petits, donc j'ai pas eu besoin de faire évoluer l'équipement mais oui ça je pense que c'est très facilement faisable actuellement.

Doctorante : Ok. On m'a aussi mentionné la vérification des réglementations et des normes d'accès pour les personnes à mobilité réduite.

R8: Oui, ça on le fait, pas pour tous mais on a tout ce qui est espaces de manoeuvre, nous on les positionne directement déjà dans la maquette comme ça on les voit directement. Après on vérifie sur la maquette si on a les bonnes distances pour les poignées, tout ça. Oui on se sert de la maquette pour tout ça. Même les hauteurs, pour les positionnements des boîtes aux lettres et tout ça.

Doctorante : Ok. Ensuite on a aussi mentionné la visualisation des zones nécessaires à la maintenance des équipements, Donc en phase d'exploitation vérifier qu'on a pas eu une action comme agrandir une gaine technique, qui fait que c'est plus accessible pour faire de la maintenance.

R8: Oui ça on le fait aussi, pour moi ça recoupe un peu un point que vous aviez dit sur les conflits des équipements mais oui ça pareil on le fait aussi. Notamment si on veut faire une plateforme technique, on va récupérer les informations du fluide, suivant la taille de la CTA et tout ça, et puis on va faire une zone, un volume en fait autour de ça et puis ça ce sera visible en maquette.

Doctorante : Ok. Ensuite on a l'utilisation de la maquette en tant qu'interface de visualisation des alertes de sécurité liée à la maintenance des équipements. Donc là la personne me parlait de la communication avec des syndicats par exemples, pour qu'ils puissent avoir une vision un peu calendrier de l'état de leurs équipements, de la chaudière et des choses comme ça. Où en sont les entretiens, qu'ils puissent recevoir une alerte à l'avance, après on parle du coup d'assez gros bâtiments, mais de savoir où se trouvent les équipements défaillants, s'il y avait une panne ou des choses comme ça.

R8: Alors pour la visualisation des alertes de sécurité je dirais qu'on est dans un... ça fait longtemps que j'en ai pas parlé ça mais de... vous savez quand on est sur la visualisation en direct des choses, c'est pas de la VR mais presque. Pour les alertes en tous les cas. La maquette... ça dépend du logiciel je pense aussi, c'est vrai qu'on voit que c'est une interface utilisateur, des fois je trouvais qu'ils dissociaient un peu l'information qui avait pu être rentrée, les DOE tout ça qui avaient été rentrés avec les informations, de la maquette en tant que telle de la phase conception, parce qu'elle elle arrête souvent d'évoluer. Il y a beaucoup de... J'ai travaillé avec un hôpital en fait et justement ils essayaient de développer l'interface pour l'utiliser, pour utiliser le BIM. Je suis partie de ma boîte avant que ça puisse aboutir, mais on avait commencé à tout rentrer. Et c'était plutôt un DOE sous forme de maquette numérique, avec les informations que eux ils allaient retirer en format

de texte. Et du coup la visualisation d'alerte dans cette optique-là, elle paraît un peu plus complexe. Pour moi ça c'est un futur encore assez loin.

Doctorante : Et vous disiez que la maquette cessait d'évoluer, à partir de quel moment elle cesse cette évolution ?

R8: La maquette telle que moi je l'entends c'est que le DOE il est vraiment bien, il suit bien l'ouvrage, normalement on a tout ce qu'il faut. Après s'il y a pas une personne qui est dédiée à son entretien à son évolution, notamment pour un hôpital où on recloisonne, on décroïsonne, on change des choses tous les quatre matins, s'il y a pas quelqu'un qui suit tout ça et qui centralise, on est sur une maquette à un instant T qui va évoluer que par petites bribes. Et du coup on aura pas une visualisation globale qui va pouvoir se poursuivre. Il faut avoir quelqu'un qui fait vivre le BIM. S'il y a pas quelqu'un qui le fait vivre je pense qu'on perd la possibilité d'avoir tout de centralisé grâce au BIM en tout cas.

Doctorante : Il faut une compétence pour pouvoir mettre à jour régulièrement la maquette et la consulter et l'utiliser en fait ?

R8: C'est ça, oui ça demande quand même un peu de travail.

Doctorante : Ok. Et alors le dernier point dans cette partie-là c'était l'utilisation du modèle numérique par les pompiers en cas d'incendie.

R8: Je pense que quand il y a un incendie ils s'amuse pas à regarder la maquette (rires) .

Doctorante : C'était dans un idéal, c'était pas proposé comme ayant été déjà expérimenté mais ça a été proposé deux fois par deux personnes différentes en se disant que ça serait vraiment idéal de faire ça.

R8: Oui oui, ce serait idéal (rires) . Pour savoir justement si on recroise où sont les personnes et tout ça, mais il faudrait que tout le monde ait des capteurs, enfin je sais pas.

Doctorante : Puis c'est vrai qu'il y a toujours ce côté où il faut que la maquette soit à jour, sinon ça peut être dangereux, si on se base sur une maquette qui est incomplète.

R8: Oui c'est ça ! Il faudrait vraiment amener autre chose.

Doctorante : Est ce que dans cette catégorie de sécurité, que ce soit en phase de conception, chantier ou exploitation, vous avez quelque chose à rajouter ?

R8: Ça me vient pas.

32:08 > 35:23 [Confort des usagers]

Doctorante : La phase suivante c'est le confort des usagers. Donc là c'est vraiment orienté usagers, et le premier point c'est la collecte des données liées à l'occupation du bâtiment. Donc forcément c'est conditionné par le fait qu'on utilise cette maquette et que quelqu'un la met à jour etc.

R8: Oui oui, alors je sais pas si c'est actuel, je dirais que là où s'arrête un peu mon domaine de compétence c'est que nous on est toujours en phase conception, on suit un peu le chantier. On prépare à l'exploitation, mais on est pas là à l'exploitation, c'est fini. Quelqu'un qui a bien anticipé son appel d'offre, qui a bien tout fait comme il fallait, je pense que c'est possible, la collecte des données. Je pense que c'est du présent pour les gens qui l'auront anticipé au préalable, pas de problème là-dessus.

Doctorante : Le point suivant, c'est plus en conception, c'est la simulation de l'éclairage naturel et quelqu'un a complété avec l'éclairage artificiel.

R8: Artificiel oui, on fait les deux. On le fait pas beaucoup mais ça c'est possible oui, c'est déjà du présent ça.

Doctorante : On a aussi le point « identification des causes d'inconfort liées à l'agencement des espaces ».

R8: Oui ça c'est du présent aussi.

Doctorante : Et ça se matérialise comment ?

R8: C'est des logiciels, de toute façon il faut pas se leurrer le BIM c'est toujours avec des logiciels. C'est des logiciels qui sont spécialisés dans cette lecture-là, on vient renseigner tout plein d'informations. La zone dans laquelle on se trouve, la hauteur du soleil, la saison, tout ça. Et ensuite via le bâtiment qui a été modélisé avec certains matériaux auxquels on va donner... par exemple un vitrage on va lui donner des caractéristiques, si on met un volet roulant, un auvent qui va venir protéger du soleil, la hauteur du sol vis à vis du châssis, la réflectivité du sol aussi, s'il est clair ou s'il est sombre, ça va pas avoir le même impact vis-à-vis du soleil et de l'apport solaire, et donc tout ça c'est modélisé dans un logiciel. Soit il a réussi à récupérer la maquette archi, qui donne déjà pas mal d'informations, c'est le bureau d'études thermiques nous en général qui fait ça, et ils viennent renseigner eux les caractéristiques des matériaux et ils vont donner des prérogatives ensuite pour la conception. Ils interviennent en phase conception forcément. Ils donnent la prérogative vis-à-vis de comment on peut éviter une surchauffe donc soit ça va être une caractéristique de vitrage qu'ils vont pousser dans un sens ou dans l'autre, ils vont demander à avoir des auvents un peu plus profonds... Enfin voilà ça va être un jeu d'aller-retour entre l'archi et le bureau d'études pour trouver le meilleur paramétrage possible. En sachant que l'orientation forcément ça joue, mais ça c'est dès le début, et des fois on est tellement contraints qu'on peut pas trop changer l'orientation du bâtiment ou l'orientation des fenêtres. Donc c'est par d'autres petites choses qu'on va venir améliorer le confort. Donc ouais ça ça se fait déjà.

Doctorante : Ensuite on a le monitoring de la production d'électricité, de chauffage et on m'a complété avec ventilation aussi.

R8: Oui ça pareil c'est bureau d'études fluides. Alors ça je sais pas le faire. Mais je crois que c'est possible.

Doctorante : Ensuite on a l'estimation des coûts liés à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers. Ce point-là était vraiment axés sur le fait de pouvoir outiller les usagers sur les coûts que pourraient engendrer une rénovation et ce que ça implique.

R8: Oui, comme je venais d'expliquer avant, est ce que si on rajoute un volet roulant ou un auvent, qu'est ce que ça change dans le confort et combien ça va coûter selon tel ou tel changement. Ça c'est possible. Ça je dirais que soit c'est de la conception, on fait un nouvel usage, soit pour utiliser le BIM pour ça faut que la maîtrise d'ouvrage, enfin le client, il ait un certain budget à mettre dedans parce que si c'est juste pour rajouter quelques brises-vues je suis pas sûre que ce soit le BIM qu'il utilisera. Par contre si on est vraiment dans une rénovation plus globale de tout le bâtiment avec une vraie étude de l'enseigne, ça je pense que c'est un truc qui se fait, qui doit se faire je pense.

Doctorante : A une des personnes j'avais donné en exemple des ensembles de logements ouvriers qui sont à rénover mais comme on peut pas toucher à la façade on peut déjà pas isoler par l'extérieur parce que c'est des ensembles classés et donc on peut pas faire ce qu'on veut. Ça avait un impact sur ce que les gens qui vivaient dedans pouvaient encore mettre comme meubles, parce que du coup ils perdaient de l'espace intérieur et donc ils devaient changer certains de leurs meubles, et ils en étaient pas conscients en tant qu'usagers, ils ne se rendaient pas compte de l'épaisseur qu'ils allaient perdre. Et des choses bêtes parfois, le buffet qui est 10 cm trop long parce qu'on a rajouté plus d'isolant que ce qu'ils imaginaient.

R8: Ah oui d'accord.

Doctorante : Ensuite on a l'amélioration de la compréhension du contrôle par les usagers de leur consommation d'équipement. Donc que les usagers puissent mieux comprendre la consommation qu'ils ont en termes d'électricité, de chauffage, de luminosité, à partir d'une application téléphone.

R8: Ca je connais pas. J'ai du mal à... Ca je sais pas trop voir, je dirais futur lointain pour le lier au BIM en tous les cas. Ca doit se faire d'autres façons actuellement, enfin ça se fait je sais pas trop comment mais d'une autre façon. Lié à la maquette, lié au BIM à tout ça, je vois ça dans un futur plutôt lointain.

Doctorante : Ensuite il y a les analyses acoustiques, et ça une des personnes m'en a parlé pour l'intérieur mais une autre personne a parlé de l'extérieur, pour les abords du bâtiment.

R8: Oui nous on l'utilise mais aussi parce que, est ce que c'est vraiment du BIM, c'est juste qu'on a l'information sur par exemple le bruit extérieur, on a l'information sur les pièces réglementaires d'urbanisme, des différentes voies. Et nous on va rentrer l'information dans la maquette pour qu'on fasse attention que ça c'est une rue de telle catégorie, donc plus tard quand on va échanger avec le bureau d'études thermiques pour les vitrages, il va toujours falloir prendre en compte cette information pour les vitrages et pour l'acoustique, donc c'est une information qui sera mise dans la maquette. Après on réalise pas d'analyses à travers la maquette encore, je crois pas en tous les cas, les bureaux d'études acoustiques je suis pas sûre qu'ils fassent encore des études sur la base des maquettes. Mais j'en connais pas beaucoup. Je travaille pas assez avec des bureaux d'études acoustiques pour savoir les pratiques.

Doctorante : Donc là c'est plus associer une donnée à un lieu ?

R8: C'est plus associer de la donnée et du renseignement que vraiment l'analyse. Alors que je sais très bien que pour le chauffage, l'électricité tout ça, ils font leurs calculs à travers la maquette. Mais l'acoustique je sais pas.

Doctorante : Après on a l'analyse des flux, à la fois les flux de circulation d'air, et les flux de circulation des usagers. Et de nouveau pour les flux de circulation des usagers la personne en a parlé pour l'extérieur, la circulation autour des abords, mais aussi quelqu'un en a parlé pour analyser les flux, donc vraiment en phase de conception, et pouvoir anticiper quels seraient les lieux de congestion et les lieux de rassemblement en fonction de l'organisation du bâtiment.

R8: Oui, je sais pas trop (rires) .

Doctorante : C'étaient des points idéaux, souvent les étoiles sont des points dont on m'a parlé en idéal.

R8: Oui d'accord. Je sais pas si on peut trop anticiper, enfin si on peut voir à peu près où les gens vont passer mais... oui si ça peut servir, par exemple dans un hôpital où on a tous les flux des gens, voir s'il y a des endroits un peu "clés" où les gens vont se croiser. Par exemple en 3D. Je sais pas comment l'analyser à travers le BIM, pour moi c'est un peu de la 2D, on va faire une ligne pour le trajet du visiteur, le trajet du malade, de l'équipe technique, des infirmières, du médecin. Et voir si peut-être il y a trop de monde qui passe à un endroit, et où ce serait bien de mettre un espace de rencontre. J'ai du mal à voir l'application sur le BIM.

Doctorante : C'est peut-être pas le côté 3D qui est utile dans ce cas-là mais plutôt le côté banque de données, de se dire que dans telle pièce il y a autant de personnes qui sont susceptibles de passer et pour aller là elles doivent passer par ce couloir, mais en même temps il y a aussi d'autres pièces à grande capacité pas loin, plutôt des choses comme ça. Il y avait aussi les analyses de flux de circulation de l'air, et ça c'est quelqu'un qui m'en parlait et qui disait que ça avait beaucoup évolué suite à la pandémie. Parce qu'on s'était plus intéressé à comment circulaient les particules.

R8: Ah oui, ça je connais pas. Depuis qu'il y a eu la crise covid moi je suis dans l'agence d'archi, j'ai plus trop de contact avec les bureaux d'études de manière poussée et ça j'ai pas vu.

Doctorante : Le dernier point dans cette partie-là c'était la gestion du patrimoine végétal, donc avoir une gestion des végétaux à proximité du bâtiment ou dans les espaces.

R8: Moi je trouve que ça c'est pas mal, est ce que c'est une gestion en exploitation peut-être pas, mais en tous les cas sur de l'existant, sur la gestion vis-à-vis du projet... C'est pas mal parce qu'on l'a en 3D et on se

rend bien plus compte que quand on a un point sur un plan. C'est pas mal de modéliser le végétal. On se rend aussi compte de l'apport que ça peut être par rapport au vis-à-vis, ouais ça c'est bien de l'utiliser, nous on le fait en tout cas.

Doctorante : Donc vous vous l'utilisez déjà ?

R8: Oui, c'est pas systématique mais dès qu'il y a un truc d'importance on le met.

Doctorante : Et est-ce que vous allez jusqu'à simuler la pousse de l'arbre par exemple ?

R8: Non

Doctorante : Vous le faites à un instant T ?

R8: Oui c'est ça, en général on prend la donnée pour une fois qu'il sera grand. Ça permet de prévoir quand il va grandir la taille du pied, la taille des racines et tout ça pour savoir la place qu'il faudrait. Après c'est dans un truc idéal aussi mais d'une manière générale on prend les bonnes dimensions.

Doctorante : Ok. Est ce que dans cette partie confort des usagers il y a autre chose qui vous vient à l'esprit ?

R8: Je trouve que l'apport de la 3D pour le confort des usagers c'est pas mal pour se rendre compte très rapidement en termes de rénovation ou des choses comme ça, du volume des espaces tout simplement, puisque c'est de la 3D et que c'est déjà là. Ça permet de se rendre compte rapidement et de communiquer aux autres rapidement sur les volumes. Et le confort qu'ils pourraient avoir. Par exemple là je suis en train de travailler sur un petit projet de chapelle, elle a une surface au sol qui est assez restreinte pour tout ce qu'on doit mettre dedans. Enfin tout ce qui nous est demandé. Par contre on a une belle hauteur sous-plafond. Et c'est la 3D qui m'a permis de communiquer avec le client sur le fait d'ouvrir cet espace plutôt en hauteur. Pour essayer de la décroisonner et que ça fasse pas une cellule hyper haute mais qu'on ait quand même un peu d'échappée donc c'est hyper important pour la communication et l'avancée du projet. Et puis du coup pour faire valoir un futur confort disons.

Doctorante : Ok.

R8: Ca et puis aussi parfois peut-être tout ce qui est visibilité, ça c'est bien aussi et la maquette permet de se dire qu'on peut donner à voir ce qui sera vu, même s'il y a du vitrage. Quand on a l'impression qu'un plan est cloisonné, ça va nous permettre rapidement de faire une vue et montrer qu'on a mis en place un système de brise-vue ou de vitrage qui va lui permettre d'agrandir aussi son espace. Ca aussi c'est de la 3D mais le BIM apporte une couche supplémentaire de la matérialité qui est bien, qui est intéressante pour la communication aussi.

Doctorante : Donc ça permet de faire mieux comprendre les espaces liés aux volumes, aux matériaux, à la transparence des matériaux... ?

R8: Oui oui. Après est ce que c'est que le BIM, il y a des logiciels qui font pas de BIM et qui le permettent, avec SketchUp on peut faire ça, ouais je sais pas.

45:54 > 56:54 [Processus d'apprentissage]

Doctorante : Ensuite on a les processus d'apprentissage pour les étudiants et pour les professionnels de la construction. A la base il n'y avait pas énormément de points issus de la littérature, seulement trois, le premier c'est la visualisation des espaces, on en a parlé avec les clients, mais quand on apprend la conception au début on a peut-être pas forcément une bonne vision en 3D donc ça permet d'aider pour ça. On a aussi l'amélioration de la compréhension de l'aménagement des espaces pour mieux comprendre l'impact des choix du concepteur. Je sais pas si vous avez expérimenté ça pendant vos études, est ce que le BIM vous a

servi pour ça pendant vos études ou est ce que vous projetez que maintenant avec le recul, peut-être ça aurait été bien ?

R8: Oui je pense que c'est pas mal pour expliquer quelque chose. Dans le même cas que ce que j'expliquais tout à l'heure, c'est-à-dire que peut-être un étudiant va dessiner quelque chose et nous on va voir direct avec la hauteur sous-plafond que ce qu'il a fait c'est pas bien. Et on va lui dire fait une coupe, fait une vue dans ta maquette et tu verras bien direct que ça marche pas. Que ce soit un client ou un étudiant, c'est bien de pouvoir se rendre compte de ça. Moi je l'ai pas expérimenté parce qu'on utilisait un peu Revit mais c'était pas... le BIM pour moi il est arrivé après mes études quand même. Sur la fin.

Doctorante : Ces deux premiers points-là ils concernaient plutôt les étudiants mais les suivants peuvent aussi s'appliquer aux professionnels de la construction puisque c'est un secteur qui est en évolution permanente. C'est l'apprentissage des principes de construction durable, grâce à des simulations, donc pouvoir se rendre compte qu'une volumétrie plus compacte pourrait permettre d'avoir une perte d'énergie inférieure ou des choses comme ça. C'est un exemple assez basique mais on pourrait apprendre plein de choses sur la construction durable.

R8: Oui. Je pense que ça c'est super, et ça existe des logiciels comme ça. Alors après est-ce qu'ils sont disponibles dans toutes les écoles j'en suis pas sûre mais si c'était possible... je pense à un logiciel que j'aime bien utiliser qui s'appelle Archiwizard. Je sais pas si vous connaissez. Il est vachement bien, il est intuitif et on voit direct les choses, il fait les calculs rapidement. Pour justement tout ce qui est surchauffe, tout ça.

Doctorante : C'est quelque chose que vous avez...

R8: Je l'ai pas utilisé en tant qu'étudiante.

Doctorante : Ok, et en tant que professionnel de la construction ? Vous vous projetez dans le fait de mieux appréhender les principes de construction durable ou pas du tout ?

R8: Oui des fois on se rend pas compte et ça permet d'acquérir des réflexes de conception. Des fois c'est des trucs tout bêtes, mais de laisser une petite allège et pas descendre le châssis vitré jusqu'en bas ça permet de ne pas surchauffer le sol directement sur toute la pièce. C'est des petits trucs mais voilà, ça je l'avais pas en tête avant de le voir simulé sur un logiciel. C'est bien pour acquérir des réflexes.

Doctorante : Et en parlant de ça, vous n'avez pas de formation sur la construction durable c'est ça ?

R8: A l'école on en parle forcément, je sais pas si on peut appeler ça formation sur la conception durable ?

Doctorante : Le fait que vous en ayez parlé à l'école c'est déjà un élément, toutes les écoles ne l'abordent pas au même niveau. C'est déjà une information de savoir que vous en avez entendu parler à l'école. Mais est-ce que vous avez fait une formation complémentaire axée là-dessus ?

R8: Non je n'en ai pas fait. Ah si j'ai fait un mooc sur la construction en chaux-chanvre.

Doctorante : Et donc il y a un intérêt pour la question mais pas spécialement de formation ?

R8: Oui c'est ça.

Doctorante : Ok. Un point qui est revenu plusieurs fois par les interviewés, c'est l'apprentissage par simulation en immersion virtuelle, et c'était plutôt soit pour la conception, donc avoir un casque de réalité virtuelle et voir directement l'impact de sa conception en 3D immédiatement, en réalité virtuelle. Ou alors pour des ouvriers qui devraient apprendre à manipuler des gros équipements ou à faire du travail en hauteur, de pouvoir apprendre en sécurité avant d'apprendre sur terrain. Avoir une première phase d'apprentissage simulé.

R8: Oui, moi je l'ai déjà fait, je l'ai fait une fois parce que j'ai eu l'occasion d'aller chez un professionnel qui en avait un. Après il faut que tout le monde s'équipe, c'est un peu un investissement pour ça. Je dirais que ça peut être un futur proche, mais c'est déjà du présent pour certains.

Doctorante : Donc c'est plutôt une question d'équipement ?

R8: Oui.

Doctorante : Ensuite on avait aussi la simulation du processus chronologique de la construction, donc quelqu'un mentionnait que parfois pendant les études on est pas tout à fait conscient de l'ordre dans lequel les choses se passent, ou même tout bêtement de l'ordre dans lequel on pose les matériaux.

R8: Oui ça je l'ai déjà fait, pour moi c'est du passé parce que je le fais plus actuellement, on a pas le logiciel qui nous permet de lier la maquette au planning, je fais du planning et de la maquette mais j'ai pas la liaison des deux, par contre j'ai déjà fait.

Doctorante : Pendant les études ?

R8: Oui. C'était pour un concours, ça permettait d'être un peu plus vendeur après du client.

Doctorante : Ok. Après on a aussi l'apprentissage des jeux d'acteurs dans la construction, donc on me mentionnait aussi le fait qu'il y a beaucoup d'acteurs dans la construction et que parfois en tant qu'étudiant on est un peu centré sur le rôle de l'architecte et pas très ouvert sur ce qui se passe à côté. La personne mentionnait que travailler avec un jeu de rôles autour d'une maquette BIM pouvait peut-être permettre...

R8: Ah oui oui c'est une bonne idée. C'est vrai qu'on a pas conscience tant qu'on est à l'école, c'est très vrai. Après un jeu de rôle oui oui pourquoi pas, ça peut être du présent mais moi je l'ai pas fait. Mais oui ça peut être du présent ça déjà.

Doctorante : Ensuite le dernier point dans cette partie-là c'était l'apprentissage des techniques de construction et l'amélioration de la compréhension des nœuds constructifs. Donc le point au-dessus c'était plutôt axé construction durable mais là c'est vraiment apprendre la technique, pouvoir expérimenter différentes techniques. Par exemple tester une poutre en bois et une poutre en acier et voir dans la maquette l'impact que ça peut avoir, qu'est ce que ça peut avoir comme conséquence. Actuellement pour pouvoir tester ça il faut construire et donc avoir un laboratoire ou un espace dédié avec des vrais matériaux pour pouvoir tester des choses. Ça nécessite d'être présent sur place, d'avoir le matériel, peut-être d'avoir l'évènement pour le faire, c'est peut-être quelque chose qui n'est pas possible à faire toute l'année.

R8: Je trouve qu'il y a des limites à ça, ça reste de l'approche un peu lointaine, moi je trouve que le mieux c'est quand même des plans d'exécution, après ils peuvent être issus de la maquette. Se rendre compte visuellement de l'impact d'une poutre bois ou d'une poutre métal... oui ça joue sur le volume mais je dirais pas que c'est un apprentissage des techniques de construction. Les techniques de construction je pense que tant qu'on a pas vu quelqu'un le faire, la maquette elle va pas simuler la... elle va nous donner un aperçu de ce que ce sera in fine mais faut regarder une vidéo pour voir comment ça se fabrique. Alors elle est peut-être liée à la maquette cette vidéo, dans ce cas-là ça fait partie du processus BIM je dirais. Ça peut être ça d'ailleurs, on se balade dans la maquette et puis on clique sur des URL et puis ça nous envoie à tel endroit pour voir comment c'est construit et tout, ça peut fonctionner. C'est bien parlant parce que c'est ludique, on se balade et l'apprentissage continue d'être ludique, pour moi ça passe toujours un peu mieux. Ça c'est du futur quand même parce que c'est lourd, c'est du temps à passer pour tout renseigner, c'est quelqu'un qui doit travailler dessus, c'est une vraie mission en soit de rendre cette approche accessible pour les étudiants donc c'est un vrai travail. C'est du futur pour moi quand même, à moins qu'il y ait une personne qui se soit spécialisée mais ça va pas apporter, disons dans le monde un peu qu'on a actuellement où on a une mission et on la fait parce qu'on est payé, là le prof s'il passe des heures à faire ça il faut que ça lui serve derrière. Il faut qu'il en ait un usage un peu plus conséquent que pour juste une heure de cours dans l'année.

Doctorante : Donc c'est plutôt quelque chose à classer dans l'idéal ?

R8: Oui.

Doctorante : Conditionné par le fait d'avoir les ressources pour le faire ?

R8: Oui, mais c'est pas idéal en fait, enfin je vois très bien comment ça peut être fait, c'est assez concret comme chose mais je pense vraiment qu'il faut du temps, il faut que toutes les conditions soient bien réunies quand même.

Doctorante : Ok. Est ce que vous avez un élément à rajouter sur cette partie ?

R8: (réfléchi) C'est des petites choses mais dans l'apprentissage du jeu des acteurs ça m'a fait penser que moi quand je suis arrivée juste après les études, c'est tous les acronymes de la construction que j'avais pas. Que je maîtrisais pas. Et qui pourraient aussi être associés de la même manière, tout ce qu'on rencontre comme ça après évidemment on les apprend sur le tas mais si ça peut aussi être renseigné sur la maquette, au même titre que les techniques de construction aussi, tout ça pourrait être lié à la maquette aussi.

Doctorante : Donc plutôt sur une question de vocabulaire ?

R8: Oui c'est du vocabulaire plutôt.

Doctorante : Ok

56:54 > 1:03:31 [Patrimoine culturel]

Doctorante : Le point suivant c'est le patrimoine culturel et le premier point qu'on avait c'était la modélisation des bâtiments à différentes époques. Ou une époque en particulier s'il a pas été modifié. Pouvoir avoir un modèle des bâtiments, garder une trace pour pouvoir communiquer avec le grand public par exemple, ou des étudiants, ou même pour pouvoir faire une reconstruction en cas d'incident ou des choses comme ça.

R8: Oui tout à fait, là je dirais que c'est limite de l'exploitation, c'est comme ça que j'ai l'impression que vous l'abordez, c'est exploiter une maquette pour une communication patrimoine culturel, c'est ça ?

Doctorante : Oui, mais comme c'est du patrimoine culturel la maquette n'a pas été faite au moment de la construction puisque c'est des bâtiments qui sont bien plus vieux que ça, et donc ça nécessite de repartir de 0 pour modéliser quelque chose qui ne servira qu'à ça entre guillemets, ou aux autres points qui sont proposés après mais en tout cas ça n'aura pas servi à la construction du bâtiment.

R8: Ah oui d'accord. Nous c'est du présent, moi je l'ai déjà fait et à chaque fois on reçoit une maquette du géomètre. Je dirais que la modélisation en tant que telle des vieux bâtiments ça c'est du présent.

Doctorante : Et c'est des maquettes en BIM ?

R8: Oui. C'est des modélisations sur la base de nuage de points. Je sais pas ce que vous voulez dire par maquette en BIM, enfin elles sont pas bien renseignées en général, mais on a toutes les hauteurs, on a toutes les... si si parce que moi des fois j'ai des frises, je reçois quand même pas mal de choses mais on reste quand même très grandement sur de la 3D, ils font la topo, ils rajoutent de l'information pour la topo, ça reste de la 3D mais je dirais que c'est le début du processus BIM en fait. Parce que c'est la base d'avoir d'abord la 3D et ensuite de la renseigner, nous on part de ça pour derrière travailler, donc même si c'est de la 3D c'est le début du BIM pour moi.

Doctorante : Donc c'est de la 3D mais il y a quand même une couche d'informations même si elle est pas comparable à un bâtiment neuf réalisé en BIM, mais il y a quand même des informations associées ?



R8: Oui c'est ça. En fait oui je dis des bêtises, il y a toutes les informations des pièces dedans. Il y a les NGF, c'est lié en plus à la géolocalisation, donc si si c'est déjà du BIM.

Doctorante : Je pose cette question car certains acteurs que j'ai interrogés ne voyaient pas tout à fait l'intérêt d'aller au-delà de juste un nuage de point avec la photogrammétrie, de s'arrêter à ça.

R8: Ah bah si ! Oui pour avoir une image mais ça dépend de ce qu'ils font avec, nous comme on s'en sert pour réhabiliter. L'avoir en dur ça nous permet de travailler direct dessus, de la recouper, de la tirer dans tous les sens donc pour nous c'est hyper important.

Doctorante : Ok. Ensuite dans la prolongation du point précédent, dans l'idée d'une modélisation des bâtiments on pourrait imaginer d'avoir une bibliothèque numérique de bâtiments historiques.

R8: Oui ce serait top ça. On a déjà de plus en plus d'informations en 3D numérique, après c'est pas des bibliothèques. Je sais pas. Est-ce que Google... Est ce que c'est du BIM ou pas ?

Doctorante : Google street view ou Google Earth c'est ça ?

R8: Oui ils commencent à mettre un peu des bâtiments qu'on peut récupérer, maintenant il y a l'ADEME qui, c'est pas de la 3D mais qui a les informations sur les parcelles, on clique sur la parcelle on a l'information des DPE, ils mettent même, même si c'est erroné parce que j'ai regardé pour chez moi ça marche pas, si les bâtiments sont sujets à surchauffe... Donc il y a déjà à l'échelle de la ville en tous les cas. Mais il manque peut-être cette transition entre l'échelle de la ville et le bâtiment en tant que tel. Il y a l'information mais elle est pas assez précise. Mais ce serait trop lourd au bout d'un moment, si on avait tout, tout le temps, tout au même endroit je pense. Surtout à cette échelle-là, parce qu'un bâtiment en BIM c'est quand même ... suivant l'information qu'il y a dedans c'est très lourd, c'est très compliqué à manipuler derrière donc en fait c'est normal, je pense, que l'info arrive, se perde, soit rajoutée, se reperde d'une autre façon selon les utilisations. Je pense que c'est ça aussi qui fait que ça vit, et ça vit dans le sens où les utilisateurs en ont besoin.

Doctorante : Ok

R8: Je pense que c'est un idéal ça. C'est trop lourd.

Doctorante : Ensuite on avait la surveillance, la maintenance et l'entretien des bâtiments. Donc partant du principe que le bâtiment est déjà construit, pouvoir avoir une veille du bâtiment.

R8: Oui, on est dans la VR. Ca futur, je maîtrise pas trop ça.

Doctorante : Ok.

R8: Maintenance et entretien d'une manière générale je maîtrise pas vraiment.

Doctorante : Après ça se rejoint un peu mais il y avait aussi la réduction des coûts de maintenance et on m'a aussi mentionné la détection des fissures et des pathologies du bâtiment.

R8: Ca je pense que oui pour le coup, parce que si on a la maquette on peut les localiser et ça peut faire ressortir des schémas, des choses en 3D qui peuvent être intéressantes à avoir. De là à dire "fissure et pathologie" je sais pas mais quand la maquette est modélisée après-coup des fois on peut pas trop savoir c'est quoi sans avoir fait des gros diagnostics. Qu'est ce que c'est la structure, tout ça. Mais le fait de pouvoir suivre une pathologie dans son évolution à travers la maquette, peut-être que ça ça peut donner des informations.

Doctorante : Mais vous ne l'avez pas expérimenté pour l'instant ?

R8: Non je ne l'ai pas expérimenté.

Doctorante : En fait cette personne-là avait travaillé sur un projet en cours, qui n'est pas terminé, où ils essayaient de faire passer des drones dans des zones qui sont difficilement accessibles comme des charpentes, et ils essayaient d'utiliser une intelligence artificielle pour détecter les fissures, ou un champignon qui serait en train de se développer, ou des choses comme ça, et pouvoir le renseigner après sur la maquette. C'était dans ce sens-là qu'elle disait ça.

R8: Ah oui ok.

Doctorante : Est ce que vous avez un élément à ajouter sur ce critère de patrimoine culturel ?

R8: Non pas vraiment .

1:03:31 > 1:11:20 [Communication avec les usagers]

Doctorante : Les deux derniers points concernent tous les deux la communication, je les ai scindés en deux parce que l'un est plutôt orienté « usagers » et l'autre « acteurs du projet ». Le premier c'est la communication avec les usagers. On en a déjà parlé du coup mais on a la visualisation partagée des solutions proposées.

R8: Oui donc c'est le présent.

Doctorante : On avait aussi l'intégration de la participation citoyenne. Pas uniquement montrer aux gens mais pouvoir utiliser peut-être la maquette pour récolter des avis avec peut-être un viewer qui serait disponible en ligne.

R8: Ca je l'ai déjà fait, mais pas sur la maquette. Non je l'ai pas fait sur la maquette. Je l'ai fait mais pas de manière associée au BIM. C'est sur une base de plans qu'on a travaillé. Pas associés au BIM mais...

Doctorante : Est ce que ça vous semble réaliste ?

R8: Oui ça semble réaliste, c'est-à-dire qu'on va faire un premier plan et là les gens vous nous dire "Ah oui ça c'est bien par contre faites attention parce si vous faites ça nous derrière quand on l'utilise comme ça ça marche pas". Et ça c'est une information qu'on peut entrer dès la concertation à un instant T, et on le garde en conception. Ça permet que ça suive le projet, qu'on s'en rappelle et que ça mette une alerte quand on développe le projet.

Doctorante : Et est ce que vous pensez que c'est quelque chose qui va se développer dans le futur ou qui resterait plutôt à un stade d'idéal ?

R8: Est ce que ça va se développer... je suis pas sûre que ça se développe de manière systématique. Intégrer la participation citoyenne dans les projets, soit c'est bien fait en amont, c'est bien rodé, c'est quelque chose qui est anticipé, organisé, et du coup ça peut fonctionner, ça peut sortir des idées, mais il y a la moitié des idées qui de toute façon, même si elles sont bonnes, elles seront pas mises en place, pas utilisées, ou sinon c'est plutôt un outil politique la participation citoyenne, donc quand c'est pas une vraie impulsion politique je dirais, ça reste un idéal. Mais ça peut être... je pense que c'est mitigé je dirais. D'une manière générale je suis un peu pessimiste sur ce sujet-là, je dirais que c'est quand même un idéal, mais je suis sûre qu'il y a deux ou trois cas qui me feront mentir. Mais c'est trop ponctuel pour que ce soit pas juste un idéal (rires). Je sais pas si je me fais bien comprendre ?

Doctorante : Oui je comprends. Le point suivant on l'a déjà signalé plus haut dans une autre partie, c'était la communication aux locataires à propos des entretiens réalisés. Par contre après on avait le suivi de résolution des pannes. Donc là la personne comparait ça avec la livraison d'un colis, qui fait qu'on pouvait savoir quand c'était expédié, quand c'était en route, quand ça allait arriver et donc ici avoir un suivi des pannes. C'était un bailleur social qui me parlait de ça et qui me parlait de ses locataires qui sont toujours très concernés forcément par le moment auquel leur demande va être traitée. Quand ils constatent une panne pour eux après c'est un vide, ils ne savent pas ce qu'il se passe entre le moment où ils ont posé la question et le moment

où il va se passer quelque chose, et parfois ça peut donner l'impression qu'il ne se passe rien, et donc il disait que pouvoir utiliser la maquette pour pouvoir communiquer, déjà pour que le locataire puisse communiquer qu'à cet endroit-là, dans cette pièce-là, il y a cet élément-là qui ne fonctionne pas, par exemple une ampoule qui ne fonctionnerait plus, et qu'après eux puissent recevoir un suivi de l'évolution de leur demande.

R8: Je trouve que si ça se recoupe avec un point d'avant, dans un sens c'est que je vois plutôt en termes de... j'ai du mal à voir pour l'entretien en tous les cas comment ça peut marcher. Pour moi j'ai toujours l'impression que le BIM ça sert plutôt à extraire de l'information et du coup on l'utilise derrière, donc par exemple la communication des entretiens à réaliser ça c'est facile, on les rentre et une fois que quelqu'un le fait, voilà il y a eu un travail de fait à rentrer tout ce qu'il allait falloir faire. Et ça par exemple le bureau d'études fluides il va noter sur ses équipements "Ca c'est à changer à telle date ou telle date". Et derrière on va récupérer facilement. Par contre le suivi des résolutions ça voudrait dire que le locataire il fait quoi ? J'arrive pas trop à voir comment ça pourrait concrètement se réaliser ça. Ça voudrait dire qu'il renseigne la maquette et que quelqu'un vienne chercher dans la maquette l'information. Je vois pas l'intérêt de repasser par la maquette pour traiter la résolution des pannes. Ou alors il faut un logiciel qui se détache de la maquette et où là on est sûr de la donnée numérique qu'on a d'abord sortie de la maquette pour le savoir, où est ce qu'elles sont, combien il y en a, tout ça. Mais c'est une deuxième vie à ce sujet-là. Je pense que c'est un logiciel parallèle et je pense qu'on se détache de la maquette. On est peut-être sûr de la donnée BIM de base mais qui a été aplatie et où on dit "il y a tant d'ampoules" et le gars peut peut-être renseigner sur un logiciel que telle ampoule marche plus, et là il y a peut-être quelque chose sur un logiciel qui dit que voilà. Mais je vois pas le lien avec la maquette sur ce sujet-là.

Doctorante : Je pense effectivement qu'il pensait plus à la banque de données parce qu'il voulait quelque chose de plus simplifié pour que quelqu'un qui n'est pas compétent en BIM puisse renseigner ces informations-là avec peut-être une tablette ou un téléphone, quelque chose de plus simple qu'une maquette complète.

R8: Oui un peu comme on utiliserait un logiciel pour faire des réserves, je sais pas si vous voyez à quoi ça ressemble ? On a des logiciels pour faire les réserves en fin de chantier. C'est un peu de la 2D mais notre 2D elle est extraite de la 3D et en fait on clique dessus on prend une image et c'est localisé donc si on pouvait le réintégrer à la maquette on saurait où sont les choses. Mais pareil là on est encore dans un sujet où derrière il faut quelqu'un qui gère cette interface. S'il y a pas quelqu'un qui s'y connaît, à la fois l'exploitant et le... je sais pas. J'ai du mal à voir comment en exploitation ils arrivent à mettre quelqu'un, à faire évoluer juste un élément comme ça.

Doctorante : Ok. Le dernier point je l'ai déjà dit c'était suivi et signalement des pannes. Est ce que vous avez un autre élément à rajouter sur cette partie ?

R8: (réfléchit) Beh ça peut être plus générique, il n'y a pas que les locataires avec lesquels on peut communiquer pour les entretiens à réaliser, mais aussi avec la maintenance, je pense à un groupe hospitalier, si on a la maquette BIM qu'on a faite pendant toute la conception et qu'on a tout renseigné, le gars il a juste à extraire, il récupère tous ses éléments centralisés, c'est quand même assez pratique. Pas dans le suivi mais dans la centralisation et dans le savoir où chercher les informations, c'est comme un DOE en 3D, c'est assez puissant quand même. Mais je vois ça dans, je dis un hôpital, parce qu'en fait si c'est un hôpital justement souvent il y a une personne qui va être dédiée à continuer de faire vivre cette maquette et toujours avoir ça de centralisé mais voilà il faut qu'il y ait quelqu'un avec la maquette. Sinon ça devient juste des documents rajoutés dans un word.

1:11:20 > 1:16:30 [Communication entre les acteurs du projet]

Doctorante : Le dernier point c'est la communication entre les acteurs du projet et ça a été résumé en deux sous-critères, c'est le recensement des échanges liés au projet et la collaboration améliorée.

R8: Recensement des échanges liés au projet il faudrait vraiment qu'on le fasse, mais c'est du futur. Il faudrait qu'on note quand on s'est dit ça, qu'on le mette dans la maquette pour pas l'oublier et qu'on le retrouve plus tard. On est plutôt encore sur un échange de mails et à retrouver les mails en effet plutôt que de les centraliser sur la maquette. Et collaboration améliorée ça c'est du présent oui, passé, futur (rires).

Doctorante : Sur ce point-là ce qui a été mentionné plusieurs fois c'est que la collaboration fonctionne mieux entre les personnes d'une même phase plutôt qu'avec des personnes entre phases. Et que parfois c'est à ce moment là que ça s'arrête et que les gens commencent à refaire leur maquette chacun dans leur coin, c'est quand on change de phase.

R8: Oui quand on passe soit de la programmation à la conception, de la conception au chantier et du chantier à l'exploitation, oui c'est clair. C'est pour ça qu'un processus BIM ça s'invente pas, il faut qu'il soit organisé. Il faut qu'il y ait quelqu'un derrière. Et je dirais que c'est un peu le rôle d'un BIM manager, il faut qu'il y ait une commande, je pense que si la personne qui va faire l'exploitation n'a pas cette demande dès le début, ou je vais le dire autrement, si la commande pour l'exploitation elle est dite dès la programmation, ce suivi sera fait. Parce que tous les acteurs seront obligés de la faire, ce sera une des demandes qui sera donnée. Parce que sinon c'est sur que nous arrivés au chantier, il suffit qu'il y ait deux - trois acteurs qui le fassent pas, on va pas le faire à leur place. C'est trop de boulot, c'est pas possible de gérer pour tout le monde. C'est pas notre boulot, donc il faut qu'il y ait une demande au préalable, et après je pense que ça peut bien se faire mais il faut que ce soit organisé et qu'il y ait vraiment quelqu'un qui fasse le suivi, sinon ça marche pas. Et il faut savoir aussi ce qu'on veut récupérer. Parce que ça sert à rien de renseigner pour renseigner si après derrière c'est de la donnée qui va se perdre et qui va pas être utilisée parce qu'à la fois c'est très puissant et à la fois ça peut être un vrai casse-tête de renseigner une maquette. C'est pas juste on rentre trois trucs. Sur un bâtiment comme un hopital le nombre de bouches de ventilation il est beaucoup trop important pour qu'on se dise... si on les rentre une à une il faut qu'il y ait un intérêt derrière. Si on met les numéros.. enfin je sais que nous on a déjà eu la demande et c'est une usine gaz vraiment. Faut vraiment savoir ce qu'on veut récupérer, pourquoi on veut le récupérer et est ce que ça a vraiment un intérêt que ce soit mis comme ça ou est ce que l'URL vers la fiche technique ça suffit pas pour tout ça. C'est ça, doser en fin de compte la quantité d'informations qu'on va mettre de dans. Et puis pour ça il faut que ce soit organisé.

Doctorante : Ok. Est-ce que vous avez un élément à rajouter sur cette partie-là ?

R8: (Réfléchit)

Doctorante : Vous, vous êtes vraiment au coeur de ça parce que parmi toutes les personnes que j'ai interrogées j'ai pas pris beaucoup de BIM manager, pour avoir plusieurs profils, certains qui sont plus en phase chantier ou en phase conception etc. Et du coup ce point-là n'a pas été beaucoup complété comme vous pouvez le voir pour l'instant. Après c'est peut-être parce que c'est une évidence...

R8: Collaboration améliorée je dirais oui que c'est une évidence et ça regroupe beaucoup de... ça recroise beaucoup de choses. Mais je pourrais si ça vous intéresse, j'ai fait une thèse pro donc assez court sur la gestion du BIM et mon thème c'était la collaboration. C'était entre les acteurs de la maîtrise d'oeuvre, j'ai pas poussé sur l'avant et l'après, mais peut-être que ça vous donnera d'autres pistes à sortir.

Doctorante : Oui ça m'intéresse.

R8: Je vous le renverrai, faut que je le retrouve je ne sais plus où il est (rires). Après « recensement des échanges » ça il faudrait qu'on le fasse, c'est vrai qu'on a tendance à se perdre mais c'est pareil, il faut toujours doser un peu ce qu'on met dedans, ce qu'on va faire avec. Il y a tellement d'itérations dans les projets, on revient en arrière, on repasse... Soit on aura trop renseigné certaines choses et il faut savoir les lâcher, soit il faut réussir à conserver des informations. Ce qui est bien c'est que ça permet quand même de communiquer. Enfin ça permet une rapidité aussi dans la communication qui améliore la fluidité. Et la

compréhension. Et ça c'est hyper important. Collaboration c'est un terme tellement générique que c'est vrai qu'ajouter des items là-dessus c'est un peu compliqué.

Doctorante : Ok.

1:16:30 > 1:19:36 [Outro]

Doctorante : Du coup là on a fait le tour de ce document donc je vais arrêter mon partage. Là on a fait le tour de mes questions, je vérifie quand même si j'ai rien oublié mais sinon ça m'a l'air bien. Par rapport à vos réponses, elles vont être anonymisées, ça va être associé à un profil, architecte, BIM manager ou des choses comme ça, mais pas à un nom. Comme ça vous le savez. Et si vous avez quelque chose à rajouter sur l'entretien qui vous vient par après vous pouvez toujours m'envoyer un mail, si vous pensez à quelque chose de plus.

R8: D'accord.

Doctorante : En tout cas merci beaucoup d'avoir accepté de répondre à mes questions, c'est pas évident de trouver les profils qui correspondent à mes critères.

R8: Ah oui ok.

Doctorante : Idéalement je cherche des gens qui font du BIM et de la durabilité et il n'y en a pas tant que ça finalement. Donc je n'ai pas que des profils comme ça mais c'est toujours plus intéressant d'avoir quelqu'un qui s'intéresse ou qui connaît au moins, parce qu'il y a aussi des personnes qui sont récalcitrantes face à la durabilité, ça existe aussi.

R8: Oui oui... Je réfléchis parce que... Bon après c'est une école, mais moi comme j'étais dans un master spécialisé dans le BIM management, à côté de ça il y avait un master qui était spécialisé dans le développement durable. C'était deux filières de gestion de projet en parallèle, et souvent quand ils faisaient du développement durable ils connaissaient pas trop le BIM. Et après si c'était pas des profils archi c'est vrai que... les archis sont peut-être plus ouverts au développement durable que certains ingénieurs spécialisés dans le BIM.

Doctorante : C'est vrai que c'est souvent pas la même personne qui s'occupe de ça, mais parfois les personnes qui s'occupent de la durabilité ne voient pas le potentiel qu'ils pourraient voir s'ils connaissaient un peu le BIM.

R8: Je réfléchirai si je trouve des.. j'ai des gens en tête avec qui j'ai travaillé, ils utilisent pas le BIM directement mais ils participent au processus et même si eux-même ne le renseignent pas ils ont travaillé avec des logiciels, ils ont exploité des données qu'on leur a fournies autrement et je pense que le BIM c'est pas juste la maquette et tout le monde l'utilise et travaille dessus, des fois on extrait que ce qu'on a besoin. Ou alors quelqu'un extrait pour nous ce dont on a besoin et nous on va juste traiter cette donnée-là. On la renvoie et à ce moment-là elle est réintégrée pas par nous-même mais je pense qu'il y a des gens qui se rendent pas compte qu'ils participent à ce processus BIM sans le vouloir.

Doctorante : Si on nom vous vient, je suis preneuse.

R8: Oui d'accord, je vais réfléchir. Je pensais à des anciens collaborateurs que j'avais mais je vous renverrai peut-être un mail.

Doctorante : Ok ça va. Merci beaucoup, je vais vous libérer.

R8: Très bien, bonne soirée, au revoir.

=====  
230301 – R9  
=====

-----  
Observations :

Le participant est néerlandophone. L'entretien est réalisé en français, mais certains mots ou expressions sont formulées en néerlandais ou en anglais dans l'entretien. Le questionnaire a été traduit en néerlandais pour aider le participant à comprendre le mieux possible le sens des questions.

-----  
00:00 > 00:45 [Introduction]

Doctorante : Si je parle trop vite, il faut pas hésiter à le dire.

R9: Oui ça va je vais le dire (rires)

Doctorante : Je vais le redire pour l'enregistrement, vous avez accepté que ce soit enregistré.

R9: Oui ça va.

Doctorante : Merci de participer à cette enquête. Normalement ça dure environ 1h, certaines personnes prennent un peu moins d'autres un peu plus, mais en moyenne c'est une heure.

R9: Ok.

Doctorante : Si c'est nécessaire d'arrêter parce que ça prend trop de temps, on peut s'arrêter à n'importe quel moment.

R9: Ok.

Doctorante : Il y a trois parties: le profil, les définitions et la grille de critères.

00:45 > 07:50 [Profil]

Doctorante : La première question c'est qu'est ce que vous avez suivi comme formation et combien d'années d'expérience vous avez dans la construction de manière générale ?

R9: Ok. Je suis architecte de formation, le master architecture à Bruxelles. Après j'ai fait deux ans pour mon stage, et au total je suis architecte depuis 5 ans, en incluant le stage. Et après ça fait maintenant huit ans que je suis chez Mon entreprise, toujours dans le domaine de la construction donc 13 ans au total, quelque chose comme ça.

Doctorante : OK. Est ce que vous avez déjà utilisé le BIM, et à quel degré ? Un peu, beaucoup ?

R9: Maintenant on est dans un projet, un trajet d'implémentation du BIM chez Mon entreprise. Est ce qu'on a de l'expérience ? Oui, mais quand je vois tout ce qui est possible, on est dans le début. Moi je suis pas un dessinateur moi-même, je suis chef de service des dessinateurs, mais je suis le PM, le Project Manager, pour le projet d'intégrer le BIM chez nous. On a fait je pense deux ou trois projets dans une manière BIM, à 30 ou 40% pour moi, quand je vois maintenant tout ce qui est possible je pense qu'on a utilisé les 30 ou 40% du potentiel pour ce projet. Ce sont des grands projets, un bâtiment centraux, comment on dit ? Logistiek

gebouw ? C'est une production, c'est 5000 m<sup>2</sup>, quelque chose comme ça. C'est pas un magasin c'est un site de production ou de distribution.

Doctorante : Ok. Et concernant la durabilité, est ce que vous avez une formation ? Je sais que vous êtes responsable durabilité, mais est ce que vous avez une formation dessus ?

R9: J'ai eu une formation pour... comment dire ça en néerlandais ? Energieconsulent, consultant pour l'énergie. C'est la formation "Energiecertificeerder". Je pense mais ça fait déjà quelques années. Mais j'ai fait beaucoup de petites formations de un ou deux jours chez NAV, c'est la société des architectes en Flandres pour des choses durables. Une dizaine de petites formations.

Doctorante : Ok. Et je reviens sur le BIM, vous avez suivi une formation, ou c'est en apprenant en travaillant ?

R9: J'ai fait une formation de 5 soirées, c'est aussi chez NAV, c'est pour informer les architectes de comment est ce que tu peux intégrer le BIM dans ton bureau. Ca c'est pour dans le contexte du Mon entreprise Group, dans le bureau d'architecture de chez Mon entreprise Group. C'était sur c'est quoi le BIM, comment tu peux faire ça, c'est quoi les choses légales, et tous les choses spéciaux. Quel software que tu peux utiliser et tout ça. Et à l'époque j'ai déjà suivi une formation Revit de 5 jours dans le bureau d'architecture. C'est presque dix ans passés je pense. Et maintenant en février on a suivi une formation ici de Revit encore une fois. 5 jours, c'était 15 personnes qui ont suivi ça et j'ai fait ça aussi. Mais ça c'est Revit, c'est pas le BIM en général.

Doctorante : Donc on peut dire que vous savez comment fonctionne le BIM ?

R9: Oui oui

Doctorante : Mais vous ne le manipulez pas vous-même ?

R9: Non, moi pas.

Doctorante : Ok. Et d'un point de vue numérique, plus largement, vous avez une utilisation d'autres logiciels ? Comme Autocad ou d'autres choses en 2D par exemple, qui est régulière ou pas ?

R9: Moi-même ou chez Mon entreprise ?

Doctorante : Vous-même.

R9: Autocad, Archicad, Revit, AllPlan, Sketchup, je sais c'est pas BIM mais bon. Je pense que c'est ça les quatre choses. J'ai une expérience avec ceux-là.

Doctorante : Ok, donc ça c'est quelque chose que vous utilisez régulièrement ?

R9: Oui à l'époque Autocad et je pense que pour quelques projets Archicad mais c'est pas très grand chose. Allplan c'est ici quand j'ai des projets moi-même, comme Project Manager, j'utilise ça. Et Autocad encore. Et Revit c'est ce qu'on a décidé, en décembre de l'année passée, de changer notre logiciel. On a Autocad, on a Revit, on Allplan, on a Sketchup maintenant, et on a choisi de changer tout ça pour la suite de Autodesk. Tout, Revit, Autocad et les autres outils. Et ça c'est une partie du grand projet d'implémentation, c'est des nouveaux logiciels alors il y a des formations pour tous les gens qui sont impactés. Mais on a vu aussi d'autres manières de collaborer entre le dessinateur et le Project Leader ou le Project Manager pour le plan d'aménagement et tout ça.

Doctorante : Donc l'objectif de votre entreprise c'est d'aller vers un BIM plus développé ?

R9: Oui. Pour tous les grands projets à construire.

07:50 > 10:13 [Définition des concepts] [Concept architecture durable]

Doctorante : Je vais passer à la deuxième partie sur les définitions. La première définition c'est celle d'architecture durable. Je demande pas forcément une définition claire mais peut-être pas des mots-clés, les idées qui viennent quand on vous demande l'architecture durable qu'est ce que c'est ?

R9: Oui. C'est basse énergie, zéro énergie. C'est la circularité des matériaux. Intégré dans l'environnement. (Réfléchi) Energie, circularité... Quelques fois on va penser que c'est écologique mais c'est pas ce sens-là, c'est pas parce que tu utilises beaucoup de bois que c'est le meilleur choix, quand tu regardes vers une circularité c'est parfois mieux d'utiliser un profil en acier plutôt que le bois parce que tu peux réutiliser ça plusieurs fois et tout ça. Ça c'est quelque chose que je vois ici, que c'est plus... it's more wide than just one direction. Pour moi c'est ça les choses les plus importantes.

Doctorante : Ok. Moi pour essayer de définir ça et rester très globale et inclure beaucoup de choses, je me suis basée sur la définition de la durabilité, donc pas architecture durable mais juste développement durable, et pour moi c'est une architecture qui est socialement équitable, écologiquement soutenable et économiquement viable, ce qui sont les trois piliers de la durabilité. Qui évoque autant le low tech que le high tech et qui met en avant l'impératif de durabilité des projets dans le temps et aussi d'acceptabilité sociale et environnementale. Donc j'ai les trois piliers en intégrant le low tech et le high tech, et puis la durabilité dans le temps. Et l'acceptabilité du projet.

10:13 > 13:15 [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM]

Doctorante : Est ce que du coup il y a des thématiques qui vous semblent plus évidentes à traiter avec le BIM pour faire une construction durable ? Des choses qui sont faciles et évidentes ?

R9: Donc quand tu utilises le BIM, que c'est plus facile de faire la manière durable ? Le BIM aide le durable ?

Doctorante : C'est ça, grâce au BIM on va pouvoir améliorer le côté durable.

R9: Ok. Et bien les choses de la circularité, les choses qui sont démontables, c'est quoi les grandes pièces qui forment un bâtiment, des panneaux du mur, je pense que c'est plus facile quand tu as déjà fait ça numériquement dans un digital twin, quand tu as déjà fait ça en 3D, et aussi plus tard pendant la période d'utilisation et de défabrication, tu as une pièce du mur et tu as toutes les informations dans ton modèle. Tu sais c'est quoi, c'est combien de m<sup>2</sup>, mais tu sais aussi que le béton c'est avec une pièce de recyclage, tu as toutes les informations et plus il y a d'informations plus c'est valable pour recycler ou... (cherche ses mots) Quand tu dois mettre la pièce dans le ... When you have to put it back in the market, it's more valuable when you have all the informations together than when you know almost nothing about it. C'est plus valable quand tu as toute l'information dedans et c'est plus facile avec le BIM de garder toutes les informations ensemble, plutôt que quand c'est des fiches techniques qui sont dans sharepoint, un plan par-ci par-là, et toutes les choses qui sont un peu... (cherche ses mots)

Doctorante : Décentralisées ?

R9: Oui voilà ! Alors ça c'est quelque chose qu'on a comme objectif ici, on a le BIM et on a déjà choisi d'utiliser Planon, c'est un outil pour l'asset management system. Tu intègres toutes les infos, on a Planon, on a le BIM, et l'objectif c'est qu'avec ces deux outils on garde toutes les informations ensemble d'un site, d'un bâtiment, d'une pièce du bâtiment,... ce sont tous des asset, on a une asset structure, et plus tu as d'informations, plus c'est valable plus tard.

Doctorante : Ok.

R9: Le BIM aide pour ça parce que tu gardes toutes les informations.



13:17 > 17:22 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale]

Doctorante : Dans ma recherche, je me suis centrée sur un seul des trois piliers de la durabilité, et c'est celui de la durabilité sociale. Ce qui n'est pas ce qui ressort en général quand on croise le BIM et la durabilité sociale. Et du coup je voulais savoir ce que vous vous mettez comme mots-clés derrière la durabilité sociale ?

R9: (Réfléchi) Et bien tu as une responsabilité quand tu construis des choses, quand tu fais des choix, quels matériaux tu utilises. (Réfléchi) C'est important mais pas toujours facile de savoir quel est l'impact quand tu utilises par exemple l'aluminium. C'est peut-être logique d'utiliser ça, mais peut-être que pour créer de l'aluminium il y a dans certains pays de gros impacts sur la nature et tout ça, alors c'est pas facile de savoir quel est l'impact de certains matériaux, mais il y a un gros impact. Certains choix que tu fais, dans ce pays. Mais bon c'est peut-être outside your country limits mais il y a quelque chose de social aussi, quand tu fais un bâtiment ou plusieurs bâtiments d'habitation, est-ce que tu construis quelque chose qui est basse énergie parce que c'est plus facile pour des habitants qui ont pas beaucoup de moyens pour chauffer tout ça. Mais c'est pas de la grande high-tech qu'ils pourront pas utiliser. Parce que c'est trop complexe, ou l'entretien c'est trop cher. Alors c'est bien pour les premiers 5 ans mais après ça perd toute sa durabilité parce que c'est pas accessible pour les habitants. Parce que toutes les choses sont déjà chères, c'est une balance pour faire quelque chose avec une logique durable, mais c'est durable pour les gens qui utilisent le bâtiment.

Doctorante : Ok. C'est difficile même pour moi de définir la durabilité sociale dans la construction, donc pour l'instant j'utilise encore que des mots-clés qui sont bien-être donc well-being, participation, accessibilité, relations humaines et équité.

R9: Equité ?

Doctorante : Equité, je vais vérifier en néerlandais. C'est presque comme égalité, mais il y a une petite nuance.

R9: Ah oui oui je vois.

17:22 > 20:29 [ Pas de thématique]

Doctorante : Donc ce sont des choses qui sont souvent difficiles à mesurer. Alors que le BIM est plutôt là pour optimiser des choses, donc utiliser des choses concrètes alors que là c'est plus abstrait. Donc ce que j'ai essayé de faire, c'est là qu'on va passer à la partie suivante, c'est de trouver des critères de durabilité sociale qu'on peut appliquer à la construction, ça c'est ce qui est dans la première colonne, et ensuite de les traduire en usages qu'on peut en faire avec le BIM. Donc comment le BIM peut aider à traiter ces critères. Il y a à chaque fois des tirets, ça c'est ce que j'ai trouvé dans la littérature, donc en lisant des articles.

R9: Oui.

Doctorante : Et ensuite il y a des étoiles, et ça ce sont ce que d'autres personnes que j'ai interrogées m'ont dit. Là c'est recto/verso, je vais vous donner deux versions, une en néerlandais et une autre au cas où c'est mal traduit, peut-être que le français peut aider. Je n'ai pas pensé à le faire en anglais (rires).

R9: Non non ça va.

Doctorante : Là on a dans la première colonne on a la sécurité, le confort des usagers, et ensuite de l'autre côté on a les processus d'apprentissage, donc le fait d'apprendre, le patrimoine culturel et ensuite la communication qui est divisée entre communication avec les usagers et communication entre les acteurs du projet. Donc là on va passer chaque point et l'idée c'est de les classer en fonction de si vous l'avez déjà fait, par le passé, est ce que vous pensez le faire dans le futur, ou est ce que vous pensez que c'est idéal, que ce n'est pas encore possible mais que ça pourrait être possible.

R9: Ok.

Doctorante : Si certains ne vous évoquent rien, et que vous ne vous projetez pas, ça ne vous amène rien comme idée, vous pouvez me le dire aussi. C'est un questionnaire que je passe à tous mes profils et j'ai des gens qui sont BIM manager, ils connaissent le BIM par coeur et du coup voient certaines choses et puis j'ai des gens qui sont plutôt dans la durabilité et qui voient d'autres choses. Donc les apports sont différents.

R9: Oui oui je comprends.

Doctorante : Donc c'est possible qu'il y ait des choses qui ne vous parlent pas du tout. Et une précision aussi c'est que les tirets c'est souvent des choses qui sont plus réalistes alors que les étoiles il y a parfois des choses qui sont un peu idéales parce que c'est aussi des choses que certaines personnes ont pensé que ce serait bien. Mais parfois ça paraît un peu fou mais en fait ça veut pas dire qu'ils l'ont déjà rencontré, c'est juste des idées qu'ils ont pu avoir.

R9: Oui oui je comprends. Répêtes les trois choses que... j'ai déjà utilisé... ?

Doctorante : C'est en fait passé, présent, futur et idéal.

R9: Ah oui ok.

Doctorante : Sachant que futur ça veut dire qu'on le fait pas encore mais c'est sur qu'on va le faire, alors que idéal c'est peut-être qu'il y a une contrainte qui fait que ça ne fonctionne pas.

R9: Ok. Alright. Je peux commencer ?

Doctorante : Oui.

20:29 > 42:09 [Sécurité]

R9: (lit le premier critère en néerlandais: réutiliser les données des précédents chantiers pour améliorer la sécurité) Futur je pense. On fait ça déjà ? Allez pas dans le BIM, mais tu utilises les choses que tu sais et tu réutilises mais bon, c'est le BIM qui fait ça déjà ici ? Je ne pense pas. Vérification des règles de sécurité, futur certainement. On fait pas ça déjà mais bon, pour voir c'est combien de mètres, les distances entre les portes de secours et le coin plus loin, toutes les choses comme ça. Je pense que le troisième, estimation des coûts, je pense que c'est pas quelque chose que nous on va faire, mais c'est quelque chose que l'entrepreneur fait ça.

Doctorante : C'est vrai que dans les points qui sont présentés, il y en a qui sont plus axés sur la phase chantier, conception ou exploitation, et dans sécurité il y en a beaucoup qui concernent la phase chantier, et donc c'est vrai que parfois ça concerne pas spécialement le concepteur.

R9: Alors on fait ça, c'est le BIM qui fait ça, on fait ça déjà dans notre plan c'est où le magasin avec les produits à haut risques, mais bon c'est le BIM qui fait ça mais je pense pas que déjà chez nous, c'est parce que le BIM est là qu'on fait ça. Localisation sur le chantier... le real time on fait ça pas dans nos sites de construction mais on fait ça pendant l'utilisation du bâtiment. Ca c'est quelque chose pour le futur qu'on va utiliser, avec le BIM, avec les model, et le scanning du chariot avec tous les produits qui doivent aller dans le rayon, où seront les chariots, est ce que c'est une obstruction pour les clients, c'est quoi le chariot avec le prix au plus haut, et c'est visible dans un plan et tout ça. Ce sont toutes des choses qui sont pour l'instant en test. Utilisation des capteurs... la même chose, les capteurs dans les casques, pas pendant la période de construction mais pendant la période d'utilisation, ensuite les travailleurs, pas pour savoir s'ils travaillent ou pas mais voir s'il est là où sa hot zone est, s'ils sont ... verspreid (= si les travailleurs sont bien éparpillés dans le magasin) . Visualisation des espaces de sécurité... Peut-être futur, mais je pense que c'est plus l'entrepreneur qui va faire ça chez nous. Identification des conflits horaires... Pas fait encore, je pense qu'on va pas faire ça dans le

futur nous-même. Parce que je dois regarder ça d'une vue de Mon entreprise ou d'une vue c'est quoi qu'on va utiliser dans le grand monde de la construction ?

Doctorante : En fait je choisis les gens pour leur parcours, et ils sont dans une entreprise donc ça impacte les réponses mais on peut sortir du cadre de l'entreprise et se demander si c'est réaliste.

R9: Ok ça va. Toutes les choses on a pas déjà utilisé, mais par exemple les capteurs dans les casques je pense que c'est quelque chose dans le futur.. que c'est plus sécuritaire. Et je suis sûr que c'est possible, et c'est bien qu'on va faire ça. Oui. Gestion des interventions... (réfléchit longuement) On fait pas déjà ça la gestion des interventions mais je pense que c'est quelque chose pour le futur. Que tu pourras suivre, où tu sais où sont les... avec une... ça c'est quelque chose qu'on utilise déjà, pour la lumière, la détection. On sait que "Ok, quelqu'un est là, ou pas alors on éteint la lumière". Et quand il y a une personne dans un étage, toutes les détections disent qu'il n'y a rien, ok alors toutes les lumières des circulations, des couloirs, on les éteint aussi. Bon quand tu connectes ça quand il y a un incendie, tu sais où sont les gens, à quel étage. C'est quelque chose qui est pas loin dans le futur, qu'on pourra utiliser ça.

Doctorante : Vous dites ça parce que ça a déjà été discuté ?

R9: Pas discuté, mais quand je vois qu'on a déjà des détections, quand on utilise déjà ça pour la lumière, je pense qu'il y a pas une grande étape pour visualiser ça en cas d'incendie. Parce que maintenant toutes les personnes de la phase 1 doivent sortir, il y a un endroit dans le parking avec tous les badges, tu dois badger et avec la liste on sait qui est sorti ou pas. Mais bon quand tu peux utiliser.. il manque 10 personnes et tu peux dire "Ok il y a pas de mouvement, pas de détection, donc tous les étages sont probablement vides". Ça peut aider. Puis l'entraînement et la formation, on utilise là le BIM, on a une petite formation pour la cabine haute tension, avec le viewer, tu vois que tu dois faire ça, puis ça et ça. On utilise ça déjà pour les gens de l'électricité. Puis modéliser tous les aménagements en lien avec la sécurité, je pense qu'on fait déjà ça, certaines choses pendant la phase de conception mais surtout après pendant la phase de gestion, dans la période d'étude juste avant l'exécution, quand tu donnes le dossier à l'entrepreneur. C'est nécessaire de modéliser, ce sont tous des éléments que tu peux mettre.

Doctorante : Vous le faites déjà ?

R9: Oui, pendant la période quand on fait le BIM. On fait pas toutes les choses dans la phase de conception mais dans la phase d'études, c'est un peu plus tard. Modéliser les équipements de chantier par l'entrepreneur.. Oui on utilise pas ça, l'équipement de chantier, mais je sais que l'entrepreneur utilise ça, parce que pour lui c'est important pour gérer ses matériaux et comment toutes les phases fonctionnent. J'ai pas déjà vu ça dans un de nos projets mais bon, c'est quelque chose qui est déjà utilisé par des entrepreneurs maintenant.

Doctorante : Ah oui PMR c'est personne à mobilité réduite, je pense qu'il est mal traduit.

R9: Ah oui ok. Oui PBM c'est des manières personnelles de sécurité, un casque, des chaussures. On utilise pas ça déjà mais c'est quelque chose qu'on pense utiliser, comme quelque chose que tu donnes à Navisworks, c'est un outil où tu dis, voilà une règle, toutes les toilettes doivent être accessibles, ça doit être possible de circuler avec 1m50, c'est quelque chose similaire à la distance pour la porte de sécurité, c'est quelque chose qu'on va probablement intégrer dans l'outil de contrôle. C'est quelque chose pour contrôler les clash, mais aussi contrôler est ce que les paramètres et les informations dont on a besoin sont intégrées dans le modèle de l'entrepreneur. On a le REI, les choses pour l'incendie, est ce que les murs ont...

Doctorante : Les RF ?

R9: Oui RF, REI. Toutes les choses qu'on va intégrer dans l'outil de contrôle, et ça va être probablement des choses qu'on va contrôler aussi. Ou les slopes... les rampes ! Est-ce que le pourcentage de pente est bien ou pas. Visualisation des zones nécessaires à la maintenance... Oui, visualiser des zones nécessaires à la

maintenance, oui je pense qu'on fait ça déjà, et c'est certainement quelque chose qu'on va utiliser pendant le prochain projet, modéliser c'est quoi, dans une plateforme technique, les routes pour les flux en cas d'incendie. When you have to run for the fire, wich is the safe way you have to take from the model. Est ce qu'il n'y a pas des tuyaux ou des canals, des petites choses dans le sol qui sont dangereuses dans les chemins d'évacuation. Ou quand tu as une porte d'électricité, est ce qu'il y a assez d'espace là. C'est toutes des choses qu'on va modéliser ou demander à ce que ce soit modélisé, ou pour les sprinklers, les cones, est ce qu'il y a pas un cable ou une ligne d'éclairage qui sont dans le cône. Ce sont des choses qu'on fait déjà ça. On a vu dans le site de distribution, il y a des light catchers dans le toit, pour la lumière du jour. La coupole. On a vu dans la maquette à un certain moment que toutes les lignes des sprinklers et de la ventilation, avec toutes les techniques qui passent devant les coupoles il n'y a pas beaucoup de lumière naturelle. Alors on doit les repositionner. Donc on a vu ça dans la maquette. Utilisation de la maquette en tant qu'interface de visualisation des alertes... Ca on le fait pas déjà mais c'est l'objectif ici. Pour utiliser la maquette dans un média, un ipad ou quelque chose comme ça, les techniciens qui font la maintenance ils auraient le plan par exemple "ah je dois faire une intervention dans la ventilation, où est ce que c'est situé ? Je peux utiliser la maquette et quand je choisis l'objet pour lequel je dois faire une maintenance, quand je choisis ça j'ai la fiche technique, ou des choses qui sont importantes à savoir, et qui sont intégrées dans le système." L'info graphique, la visualisation, est intégrée dans le même outil qui contient toutes les informations du projet. Aussi les choses de sécurité, "attention c'est haute tension" ou quelque chose comme ça. Utilisation du modèle numérique par les pompiers...

Doctorante : Ça c'est quelque chose qu'on m'a donné comme idéal, parce qu'il faut que les pompiers aient envie d'utiliser le modèle. Ils peuvent connaitre le bâtiment à l'avance mais si c'est un très gros bâtiment comme par exemple un hopital, peut-être que ça peut valoir la peine pour eux d'avoir étudié le bâtiment en 3D, même s'il n'y a pas d'incendie, pour savoir à quoi s'attendre sur place.

R9: Oui maintenant on a déjà des dossiers d'intervention, c'est une farde des grands bâtiments que les pompiers ont. Et ici dans le site il y a des plans, où sont les extincteurs, les hydrants,... et tout ça est dans les plans, mais quand il y des maquettes oui c'est quelque chose qui est plus visible pour les pompiers. Oui peut-être faire une petite démo en VR quand le bâtiment est prêt à être utilisé, que tu fais chez les pompiers et qu'ils doivent pas visiter tous les sites. Normalement c'est nécessaire mais bon pour toute l'équipe ça peut être possible faire un VR tour du bâtiment pour mieux comprendre les différentes choses.

Doctorante : Donc au lieu d'avoir une personne ou deux qui viennent sur place,...

R9: Oui voilà, ou c'est une petite démo, un film qui est prêt chez les pompiers et quand il y a un incident, sur la route en voiture jusqu'ici, c'est possible de regarder le film pour mieux comprendre le site et tout ça. Ca c'est pas quelque chose qu'on... pas grand high tech, je pense que c'est déjà faisable maintenant. Quand tu as un modèle 3D, tu as tous les éléments pour faire ce film.

Doctorante : En fait ce point là c'était idéal parce que techniquement c'est faisable, mais humainement ce n'est pas dans les moeurs, ce n'est pas comme ça qu'on fait pour l'instant, et donc les pompiers, je ne sais pas s'ils sont contre ou pour, je n'ai pas posé la question, mais en tout cas ce n'est pas comme ça que ça fonctionne pour l'instant, et il faudrait changer les habitudes.

R9: Oui, est ce qu'il sait que tout ça est possible avec le BIM. Chez les pompiers.

Doctorante : Oui, et il faut aussi qu'ils aient un intérêt pour le numérique, qu'ils sachent se déplacer dans la maquette numérique avec un viewer ou des choses comme ça. Il y a des gens qui n'aiment pas trop ou qui se retrouvent pas trop dans la 3D. On trouve que la 3D c'est plus facile, mais les gens qui ne s'y connaissent pas ne trouvent pas ça toujours plus facile.

R9: Non non (rires). Peut-être avec film où tu dois juste faire play et tu as en une minute, tu dois juste regarder, c'est peut-être plus simple pour eux.

Doctorante : Est-ce que vous avez quelque chose à ajouter sur cette partie sécurité ?

R9: Quand tu mets les bons paramètres dans ton modèle, c'est plus vite possible pour regarder, pour contrôler, par exemple le compartimentage, c'est quelque chose qu'on va toujours dire "ah oui tu as le compartiment de la filiale du magasin, le compartiment du local social, bon je dois contrôler, est ce que tous mes éléments qui font le contour du compartiment, est qu'ils ont le bon RF, la valeur ou pas ? Parce que maintenant dans un plan est ce que j'ai tout marqué, dans les coupes, dans le plan ? Avec une maquette c'est pas grand chose à contrôler si tu as les bons paramètres.

Doctorante : Vérifier si les parois ont les bons...

R9: Oui, tous les éléments "ah j'ai oublié une pièce de l'escalator" ou quelque chose comme ça. Certaine fois le bâtiment est pas simple et tu as beaucoup de petites choses, et il y a des choses que tu as oubliées. Voilà c'est quelque chose à laquelle je pense.

42:09 > 1:04:55 [Confort des usagers]

Doctorante : Le point suivant c'est le confort des usagers.

R9: Oui.

Doctorante : Donc là c'est plus lié à la phase exploitation du bâtiment, donc quand les gens sont dedans.

R9: Collecte des données liées à l'occupation du bâtiment... Alors c'est un peu ce que j'ai déjà dit, qu'on utilise maintenant les détections de la lumière, mais j'ai vu des modèles en 3D, où tu as le bureau, tu peux cliquer dans le bureau, tu vois la température et la ventilation, tu peux adapter ça, quand tu as quelqu'un qui peut faire ça. C'est quelque chose probablement qu'on va faire dans le futur parce qu'on a maintenant déjà un système, SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) , c'est un système interne, qui est très schématique. Tu vois le bâtiment, il est très simple et pour les éléments techniques, le technicien à la maison sur son ordinateur il peut adapter la ventilation à 30% ou 50%, ou le chauffage, la température il peut les adapter. Et probablement ça va évoluer de quelque chose de plus schématique vers un virement qui utilise le modèle. Le modèle avec le système qui adapte les paramètres de la technique. C'est pas maintenant, mais dans le futur ça va être plus intégré. Oui avec les détections c'est possible je pense, mais pas déjà avec le BIM. Simulation de l'éclairage naturel et artificiel... Ca c'est quelque chose qu'on fait pas maintenant mais c'est notre top priorité dans notre département d'électricité. Pour simuler avec dialux ou quelque chose comme ça. Parce que maintenant on a la détection mais aussi la détection de combien de lumière naturelle et avec le dimming (séparation ?) de l'éclairage, mais quand tu peux simuler ça c'est aussi quelque chose dans la liste des priorités. Oui, la lumière mais aussi le calcul des déperditions de chaleur, pour savoir combien de kw, tout ça, c'est quelque chose que fait l'ingénieur projet, il fait ça maintenant avec un Excel. Mais l'objectif c'est de faire ça avec le modèle, tu as la valeur du lambda pour l'isolation des fenêtres, des murs et tout ça. Et c'est possible de faire un calcul avec le modèle. Pas maintenant mais c'est aussi une des top 3 des priorités du département technique. Identification des causes d'inconfort liées à l'agencement des espaces... Oui... (hésite longuement)

Doctorante : Il est peut-être un peu plus compliqué à comprendre celui-là, car c'est dur de se projeter dedans, mais ça pourrait par exemple être le logiciel qui identifie que parce qu'on a mis une porte dans l'alignement de la fenêtre ça crée un courant d'air.

R9: Ah oui ok comme ça ! C'est vraiment futur je pense chez nous. Mais c'est quelque chose qu'on utilise mais c'est plus visualisation, en 3D par exemple pour la cantine, c'est l'objectif de créer une cantine plus agréable, avec des plantes, des différences dans les matériaux. A l'époque c'était toutes les mêmes tables, comme une base de l'armée ou dans une école. Maintenant c'est plus agréable et c'est plus diversifié. C'est quelque chose qu'on cherche déjà avec une visualisation en 3D. On sait pas justement avec un plan, c'est le

BIM ou pas... pas vraiment le BIM mais plus la 3D, les choses en 3D. Mais pas déjà avec comme tu dis "une fenêtre, une porte, est ce qu'il y a un risque de vent ?" ou quelque chose comme ça.

Doctorante : Et par exemple, pour les différents matériaux, on pourrait calculer les pourcentages de peinture blanche et se dire qu'en fait il y a beaucoup de blanc.

R9: Oui oui (rires). Ou peut-être quand il y a un degré pour l'acoustique, il y a beaucoup de matériaux qui sont solides, ou pas...

Doctorante : Qui absorbent ou qui résonnent...

R9: Oui voilà. Oui c'est quelque chose de possible. On utilise pas ça mais bon. Mais évidemment c'est possible. Monitoring de la production d'électricité, chauffage, ventilation... c'est quelque chose qu'on utilise déjà depuis très longtemps, on a les éco-2, c'est le système qui fait le monitoring, la production ou l'utilisation de l'électricité, on a eu le plan de réduction d'énergie, réduction de CO2. Pendant je pense que c'était 2008 et on avait l'objectif de diminuer ça. Maintenant c'est peut-être pas intégré dans le BIM, mais c'est ce que j'ai déjà dit avec le système de SCADA, avec l'adaptation des choses techniques, l'objectif c'est qu'on a le modèle, on a le monitoring, on a l'adaptation de la ventilation, et l'objectif c'est qu'il y ait un dashboard qui utilise toutes les sortes d'informations et ça se trouve intégré dans le système, et avec le modèle tu vois que "ah cet espace-là, ou ce bâtiment-là, il y a cette utilisation de l'électricité, pourquoi ? Donne-moi tous les espaces qui sont plus chauds que 22 degrés et tout ça". Quand je connais Mon entreprise, c'est quelque chose qu'on va sûrement faire ou intégrer pour que toutes les choses soient claires et intégrées entre nous. Parce qu'on a le projet pour introduire le BIM, mais aussi un projet qui doit intégrer quand il y a la période de conception, quand tu bâtis le bâtiment, mais après la période d'utilisation, après avoir construit ça, tu as toutes les informations du bâtiment et l'information as-built. Maintenant on a peu d'information, on a la surface, les informations des rayons des magasins... C'est peu d'informations qu'on donne aux gens qui utilisent ça, les techniciens ou les gens du mon entreprise. On utilise les infos, l'objectif c'est qu'on utilise toutes les infos du bâtiment et d'intégrer ça dans un système qui utilise le monitoring, le SCADA, le BIM, le modèle, et une sorte de dashboard qui synthétise, qui donne une overview.

Doctorante : C'est intéressant parce que dans les bâtiments de logement ou dans les bâtiments uniquement de bureaux, ça arrive souvent qu'au moment où les gens rentrent dans le bâtiment, le modèle BIM arrête d'être alimenté, parce que personne n'est là pour le faire, alors qu'ici finalement ça a encore un intérêt pour vous d'alimenter au fur et à mesure.

R9: Oui, pour les gens qui sont là pour la période de conception ou de réalisation, sur certains projets ils disent "ah on a une rénovation, est-ce que c'est nécessaire de faire ça en BIM ? C'est pas grand chose qu'on va changer dans le bâtiment, est ce que le BIM va être... est ce qu'il y a des avantages, avec des clashing on va voir ce canal là, mais il y a pas grand chose qu'on va changer". Et je dis ""oui mais c'est la première partie d'utiliser les data du BIM, et c'est l'opportunité pendant la période de construction quand on fait la rénovation, on va digitaliser, on va faire le digital twin du bâtiment et quand c'est prêt, on va réutiliser le bâtiment et on a les data, on va les utiliser pour tous les gens qui ont besoin de ça pour faire les maintenances ou l'utilisation." Et on a 600 magasins Mon entreprise et tout ça. Quand tu veux faire des études, on manque maintenant d'informations globales. Pourquoi est-ce que ce bâtiment utilise plus de gaz que l'autre ? Quand tu sais pas comment le bâtiment est construit... Quand tu as les data, maintenant cette quantité de temps pris pour analyser, regarder, chercher dans les plans c'est combien qu'on a... Quand tu as toutes les datas qui sont structurées, tu peux dire "J'ai besoin de Mon entreprise, magasin, plus grand que 1500m<sup>2</sup>, et il y a ce type de ventilation". tu peux donner tous des critères et tu as une liste de datas que tu peux utiliser pour faire une étude, c'est déjà... Allez, combien de fois qu'on a besoin de ça et que... ok, on va faire tous les travaux pour collecter les datas et utiliser ça pour... Tu peux faire de meilleures décisions quand tu as les datas, que quand tu ne les as pas. Et ça c'est aussi la direction, dans le management plus haut, le BIM est vu d'une autre manière qu'il y a trois ans. Il y a déjà une overview dedans, ils voient de mieux en mieux

l'opportunité qu'il y a dedans qu'il y a trois ou cinq ans. Mais c'est normal. Estimation des coût liés à la rénovation du bâtiment...

Doctorante : Ce point-là venait d'une étude sur des logements sociaux dans des ensembles protégés parce que ça faisait partie de maison de mineurs dans le nord de la France, et les personnes devaient isoler le bâtiment mais ils étaient pas propriétaires, seulement locataires. Donc c'était imposé à eux, ils n'avaient pas le choix. Et comme on ne pouvait pas toucher à la façade parce qu'elle était protégée, il fallait isoler par l'intérieur et donc ils perdaient de la place, et comme c'est déjà des petits logements ils ne savaient plus mettre leurs meubles, parfois parce que ça dépassait seulement de quelques centimètres et c'était de là que venait ce point-là. Que ça pouvait permettre d'avoir une visualisation de ça mais aussi se rendre compte des coûts que ça engendre, parce qu'il fallait aussi déplacer tous les radiateurs par exemple.

R9: Je pense que chez nous c'est quelque chose qu'on va utiliser quand on va faire une rénovation, est-ce que c'est une petite ou grande rénovation et c'est quoi tous les coûts parce que quand tu fais tout, c'est tout, et les coûts s'agrandissent très vite. Alors je pense que c'est pas pour le confort des usagers, c'est dans une autre manière ici mais je comprends oui. Améliorer la compréhension du contrôle par les usagers de la consommation des équipements. Ok oui donc une sorte d'appli ?

Doctorante : Oui, en se disant que si la personne voit comment elle consomme, elle pourra mieux comprendre comment elle peut agir.

R9: Et c'est avec le BIM ou c'est avec le monitoring du...

Doctorante : En fait dans le BIM je vois à la fois la maquette en 3D, la banque de données et la collaboration, donc pour moi c'est trois choses qui sont la base du BIM, et donc ce point là est plutôt sur la partie banque de données qui sont stockées dans une maquette BIM et qui sont ensuite traduites sur une application qui est plus facile à comprendre pour quelqu'un qui n'est pas du milieu de la construction, et donc là vraiment plus dans le cadre d'usagers qui vivent dans le bâtiment ou qui y travaillent. Mais qui ne connaissent pas le numérique ou la construction.

R9: Oui, c'est quelque chose qui aide pour comprendre ou faire ça plus "low base", c'est quelque chose qui est important parce que dans les écoles, j'ai vu ça dans une interview ou quelque chose comme ça, des écoles avec toutes les choses de ventilation mais ils connaissent pas comment ça fonctionne et c'est bien pour les deux premières années mais après avec les filtres qu'ils connaissent pas, comment savoir le statut du filtre ou leur consommation. Aussi pour eux, ce sont des gens qui donnent des formations à des enfants mais ils connaissent pas toutes les choses de la construction, je pense que c'est la même chose et c'est très important. Autrement, j'ai dit ça au début (réfléchi). Tu peux pas utiliser les opportunités créées par ça. Et peut-être, je pense que c'est en Hollande, quand tu comprends pas ou tu sais pas ce qu'il se passe dans le bâtiment avec les choses techniques, tu as le sick building syndrom, quand il y a pas de... avec le système D...

Doctorante : Oui quand on ne sait pas aérer, on a pas de contrôle ?

R9: Oui pas de contrôle, ou ça utilise de l'électricité, je vais faire on/off et on a pas d'air frais, et l'air dans le bâtiment il était moins bon que quand ils étaient dans l'ancien bâtiment où l'air frais entrait par les fissures dans les fenêtres, parce que l'étanchéité était très bien mais le système de ventilation ne fonctionnait pas à cause de la hausse du prix de l'électricité. C'était plus mauvais qu'un bâtiment vieux qui n'a pas toutes les technologies. Alors quand tu as quelque chose qui explique d'une manière simple que c'est important, oui ça utilise de l'électricité, mais tu vois ton niveau de CO2 est très bien. Quand tu vois le résultat... Oui je pense que c'est très important. Comme je dis pour une école, pour des maisons, des locataires et tout ça. Les analyses acoustiques on a déjà dit que c'est peut-être quelque chose qu'on veut utiliser. Analyse des flux de circulation des usagers... Oui je sais qu'on utilise ça pour des grands bâtiments mais pas chez nous, pour des salles de concert ou tout ça. C'est quoi les bottle necks et tout ça. Chez nous on utilise ça déjà au niveau de plans 3D, 2D, mais on va utiliser ça de plus en plus dans les projets où on a déjà le BIM, l'utilisateur qui va... le

bâtiment c'était la production des salades de poulets et tout ça, et l'usager il utilise le viewer pour regarder "ah ici il y aura ma machine, et après il y a une autre machine, est ce qu'il y a assez de place pour ça, et la viande vient de là, je dois prendre mon bac et je dois faire ça là, est ce que toutes les routes, tous les mètres que je dois courir, est ce que c'est le plus sûr ou c'est optimisé qu'il y a besoin de moins de temps quand je fais ce mouvement 1000 fois, et comment je peux améliorer ça ? Maintenant c'est 10 mètres, on va adapter pour que ce soit 5 mètres. 1000 fois à faire, c'est moins de coût ou c'est mieux pour l'ergonomie des postes de travail. Pour les techniciens aussi, il utilise ça. Avec tous les étages, avec toutes les techniques, les canaux, les tuyaux et tout ça, est ce que c'est possible d'une manière humaine pour passer ou aller vers toutes les choses techniques, où est ce que tu dois faire de la maintenance. Et c'est de la maintenance parfois à l'année, ou parfois tu dois passer chaque semaine, c'est une autre manière de regarder ça, et ils utilisent déjà le viewer avec le modèle. Mais c'est pas déjà une analyse avec un outil qui fait ça avec des paramètres, c'est plus regarder avec le viewer et tout ça. Analyse des flux de circulation d'air. Non on utilise pas déjà ça, on va faire les calculs avec l'outil, combien de diamètre on a besoin pour cette quantité de débit pour l'air frais et tout ça mais bon... Gestion du patrimoine végétal... Non on a pas utilisé, je pense pas directement.

1:04:55 > 1:18:53 [Processus d'apprentissage]

Doctorante : Alors là on change de point, ça concerne le fait d'apprendre, et ça concerne à la fois les étudiants qui apprennent puisqu'ils sont à l'école pour ça, mais aussi les professionnels du secteur de la construction puisque le secteur évolue quand même beaucoup, surtout ces dernières années, et donc ils sont amenés à devoir se former. Notamment au BIM, puisque le BIM n'est pas vraiment encore implanté partout pour l'instant.

R9: Et c'est le BIM ou c'est encore une fois avec le critère du social ?

Doctorante : C'est grâce au BIM, comment on peut apprendre des choses ? Par exemple le premier point, la visualisation des espaces, c'est se dire qu'on a une maquette en 3D donc les étudiants ou les professionnels de la construction même si eux connaissent en général déjà les espaces, mais un étudiant qui n'a jamais appréhendé les espaces en 3D va peut-être plus facilement savoir se projeter, comprendre s'il a une toute petite pièce et que sa table est très grande, il va pouvoir le voir alors qu'avant c'était sur un plan. Au début on a pas les mesures en tête et on ne voit pas que la chaise est trop proche du mur ou quelque chose comme ça. Donc c'est vraiment utiliser le BIM pour apprendre.

R9: Oui, c'est quelque chose je pense qu'on utilise ça...

Doctorante : Ici il y a deux choses, deux manières que vous pouvez utiliser pour répondre, c'est comment vous avez appris, est ce que le BIM avait une place pendant que vous étiez étudiant, ou alors pendant que vous étiez dans le milieu du travail. Quand vous travailliez déjà est ce que le BIM a permis de mieux vous rendre compte de certaines choses. Visualisation des espaces c'est vrai que c'est peut-être plus pour les étudiants...

R9: Oui, dans la période où j'étais étudiant moi-même, on a utilisé ça un peu avec Sketchup et tout ça pour voir c'était quoi l'espace, est ce que ça fonctionne ou pas. On a eu une stagiaire qui fait les formations de dessinateur. L'année passée il y a eu aussi, et je vois qu'ils utilisent de plus en plus Revit et tout ça mais c'est pas qu'ils utilisent ça pour visualiser les espaces je pense. Chez nous c'est déjà quelque chose qui est là de plus en plus. Amélioration de la compréhension de l'aménagement des espaces... Un peu le même

Doctorante : Oui les deux premiers points se ressemblent et sont un peu liés.

R9: Est ce que j'ai utilisé ça ? Oui et c'est important pour mieux comprendre, oui c'est sûr. Et je vois pour les professionnels de la construction on voit aussi que c'est quand il y a des choses nouvelles, quand il y a un magasin, mon entreprise c'est toujours la même chose mais par exemple le bio il y a un nouveau concept,



une nouvelle génération. C'était plus facile quand tu as la visualisation de dire que tu as un rayon, comment on va finir le plafond là ? A l'époque c'était en plan, ils oubliaient complètement, et pendant la construction on disait "Tient, il y a un endroit là qu'on doit finir" (montre la jonction mur/plafond). C'est à ce moment-là qu'ils voient ça et "ah shit, on doit faire les finitions là". Quand tu as la 3D, tu vois toutes les petites choses et tu te dis "ah oui ça aussi et ça aussi". Et ça c'est quelque chose qu'on voit maintenant déjà, que tu as une meilleure compréhension de comment l'espace va être. Simulation des principes de construction durable. Oui, on y est pas maintenant mais quand on s'intéresse aux choses plus démontables, la circularité du bâtiment, l'objectif c'est aussi d'avoir des grands éléments de façade, des murs, qu'on peut réutiliser et à ce moment on va certainement faire ça dans une 3D, dans un modèle, comment ça fonctionne, comment les deux éléments sont joints, comment on va faire ça quand ça doit être démontable, les fixations sur la structure et tout ça, ce sont toutes des choses qui vont être créées en 3D pour bien comprendre comment ça fonctionne. Et aussi on a aussi des gens qui font le product design, avec le nouveau rayon, le nouveau meuble de caisse, on fait ça en 3D avec Solidworks et après on fait un mockup, un prototype en carton au début, puis en acier ou en bois, et toujours de plus en plus proche du produit final. Et là aussi c'est une étape importante pour visualiser ça en 3D. Apprentissage par simulation en immersion virtuelle... c'est la VR c'est ça ?

Doctorante : Oui c'est ça, vous en avez un peu parlé tout à l'heure avec les cabines haute tension.

R9: Oui, on a un espace de VR fixe à Velgedem, à notre étage, dans nos bureaux, on a une salle. A Elbeek, c'est un autre site, et là il y a le fablab avec toutes les choses du product design. Là il y a un espace VR aussi, il y a un viewer aussi à Eelbroek, et on voit que c'est utilisé de plus en plus avec des projets qu'il y a en BIM en Wallonie. Il y a un nouvelle chaîne de distribution, le cheese, c'est un nouveau bâtiment de production pour le fromage et tous les usagers futurs utilisent là le viewer pour voir comment ça fonctionne, combien de litres de production est possible, est ce que c'est agréable, est ce que c'est réalisable. Simulation du processus chronologique de la construction... Oui, on utilise pas déjà ça mais on voit que dans Revit tu as le choix des phases, on peut utiliser ça. Dans certains sites où on a un bâtiment existant, on va faire un nouveau bâtiment là, le phasage c'est très important. On va créer le nouveau bâtiment comme ça, on garde le magasin existant, l'objectif c'est de fermer le magasin le plus tard possible. Ok, c'est quoi les étapes, le bâtiment est là, le parking, comment on va organiser tout ça. Maintenant c'est tout en 3D mais je peux m'imaginer que c'est plus facile avec quelque chose en BIM avec des modèles.

Doctorante : Les personnes qui ont mentionné ce point là parlaient du fait que quand on fait des études d'architecture, on apprend les phases de la construction, mais on ne se rend pas vraiment compte du temps qu'elles prennent, à quel moment l'architecte intervient dans ces phases etc, et ils parlaient aussi de dans quel ordre on va poser les matériaux, de se rendre compte avec la maquette que si on met d'abord la poutre, et qu'il y a pas de mur en dessous, ça ne va pas tenir tout seul.

R9: Oui oui je comprends, oui c'est un bon exemple parce que quand tu es étudiant tu penses "comment il va faire ça ?". Oui c'est quelque chose que tu peux utiliser ça, pour simuler. Parce que tu peux expliquer, mais quand tu vois ça c'est plus clair qu'une explication. Oui c'est des choses intéressantes. Oui les nœuds constructifs et tout ça, c'est plus simple quand tu peux exploser les choses. Oui c'est intéressant. Est ce qu'il y a autre chose à laquelle je pense... On a un magasin existant, c'est pas de nous mais on l'a acheté, mais pour le moment il y a un faux-plafond et la structure du toit c'est pas des poutres en acier et en béton mais c'est des cadres...

Doctorante : Des fermettes ?

R9: Peut-être... c'est en acier, en acier, tous les mètres et demi, quelque chose comme ça. Mais là on les voit pas parce que le magasin est encore ouvert, on peut pas démolir le plafond, donc on a fait un scan 3D. A certains endroits on peut... pour les gens qui font les scans, à certains endroits c'est accessible. Alors ils font un nuage de point, et on a reçu ça maintenant en 3D, en maquette. En Revit. Et on peut déjà voir comment

on va faire notre technique. Parce que normalement les câbles sont en-dessous des poutrelles, tu as la structure et maintenant il n'y a pas d'espace pour faire ça en-dessous. Ça doit passer dedans, entre la structure, mais le temps entre la fermeture du magasin et la nouvelle date d'ouverture du nouveau Mon entreprise, il y a pas beaucoup de temps, et on doit faire l'étude ça doit être déjà prêt, pour peut-être déjà préfabriquer des choses... Le moment où c'est fermé on peut déjà faire ça full force, parce qu'on a pas ces infos on doit faire l'étude pendant la période où le magasin est fermé. Ça c'est des choses, quand tu peux déjà les visualiser tu peux bien comprendre pendant la période où tu n'as pas tous les outils pour le faire. C'est tout je pense.

1:18:53 > 1:23:08 [Patrimoine culturel]

Doctorante : Le point suivant il concerne tout ce qui est des bâtiments qui ont une valeur historique intéressante, et du coup il y avait au début un peu deux manières de voir les choses, c'était essayer de refaire des modèles de bâtiments qui existent déjà pour pouvoir par exemple faire des bibliothèques de bâtiments historiques, pour les élèves, pour apprendre, mais aussi pour tout le monde en fait, pouvoir avoir accès à des bâtiments en 3D.

R9: Une data base oui.

Doctorante : Ca c'est plutôt la culture au sens large, et puis il y avait la partie "s'occuper du bâtiment" et donc surveiller le bâtiment, et faire la maintenance et l'entretien du bâtiment grâce à une maquette donc comme vous le disiez tout à l'heure. Du coup ici avoir ce genre de maquette pour faire ça. Et quelqu'un avait rajouté le point, qui était un point idéal parce que c'est quelque chose qu'on lui a demandé d'étudier mais ça allait seulement débiter, c'était de faire de la détection des fissures et des pathologies des bâtiment. Et c'était une personne qui travaille à la SNCF en France, qui voulait pouvoir détecter dans leurs vieux bâtiments, dans la charpente ou sous la toiture, ils ne savaient pas toujours accéder et envoyer des drones qui pourraient repérer avec une intelligence artificielle des choses qui seraient anormales.

R9: Oui, je connais un collègue qui était chef de service ici dans le marketing, maintenant il est dans un bureau qui fait des recherches avec des drones pour des ponts d'autoroute, avec les fissures aussi avec le drone détecter où il y a besoin d'intervention ou de maintenance.

Doctorante : Il le fait déjà maintenant ?

R9: Oui, c'est pas chez nous mais il était à l'époque chez nous mais maintenant il fait ça. Au début il fait l'analyse des arbres de fruits, combien de fleurs et dedans il fait une analyse avec le drone pour les estimer ce que tu peux attendre comme récolte, combien de tonnes de fruit ça va produire. Mais maintenant il fait des analyses des ponts, des fissures et tout ça.

Doctorante : Et avec votre magasin, je ne sais pas si vous avez... vos bâtiments ce sont souvent des bâtiments neufs ? Ou qui ont été construits par vous, mais pas des bâtiments anciens ?

R9: Pas beaucoup, on a à Gand un site avec une façade qui reste, qui va rester et tout le reste va être démolé. Mais ça c'est avec un architecte externe. Toutes ces choses là c'était en 2D, c'est pas déjà fait. Mais peut-être dans le futur, c'est mieux de faire ça avec la 3D. Le magasin que j'ai expliqué avec le faux-plafond c'était quelque chose d'existant mais c'est pas quelque chose avec une grande valeur patrimoniale, culturelle. Mais bon ce bâtiment doit aussi être modélisé pour bien comprendre comment on va utiliser ça dans le futur.

1:23:08 > 1:35:54 [Communication avec les usagers]

R9: « Communication avec les usagers »... « Visualisation partagée des solutions proposées ». Oui ça c'est quelque chose qu'on utilise avec notre client, les usagers futurs, que j'ai déjà expliqué avec la production du

fromage et tout ça. Ce sont pas des gens qui ont une bonne visualisation 3D, quand tu es dans la construction tu comprends la vision 3D mais c'est très agréable, "usable", pour utiliser ça avec ce type de personne qui n'a pas ça. On utilise des visualisations pour notre responsable d'expansion, quand on va construire un nouveau magasin, et l'environnement est pas chaud pour qu'on construise "oh un nouveau magasin, avec toutes les mobilisations et tout ça". On utilise des visages ou un petit film pour mieux expliquer l'environnement avec toutes les choses vertes qu'on va utiliser et tout ça. Ou le toit vert, quand il y a des appartements dans l'environnement. A l'époque on a fait ça aussi, à un moment toutes les choses pour le permis et la construction des éoliennes, et aussi chez nous on utilise ça beaucoup pour la participation citoyenne, parce que ça c'est des choses... ça ne plaît pas, ce n'est pas facile. Pas dans mon jardin (rires). Communication aux locataires à propos des entretiens à réaliser... (réfléchit longuement). Oui, communication vers le locataire, on a des bâtiments où il y a des locataires externes, mais pour le moment maintenant on utilise pas.

Doctorante : Ici vous êtes votre propre locataire ?

R9: Oui. Suivi de résolution des pannes...

Doctorante : Vous l'avez peut-être déjà mentionné un peu dans un point précédent, où vous disiez d'associer toutes les informations à un objet, notamment l'entretien et la maintenance. Si je me souviens bien ce point-là avait été mentionné par quelqu'un qui était bailleur social, donc une grosse entreprise qui possédait des bâtiments sociaux qu'ils louaient à des gens, et il disait qu'un des problèmes qu'il rencontrait souvent avec les locataires, c'était quand les locataires signalent une panne, ils ne sont pas au courant de quand combien de temps ça va être résolu parce qu'ils ne voient pas le processus et donc ils ont l'impression d'envoyer une demande et ensuite que personne ne s'en occupe. Parce qu'ils n'ont pas de retour. Et donc il trouvait intéressant dans un idéal que les locataires puissent avoir une sorte de tracking comme pour un colis, se dire ça a été envoyé, ça a été lu, envoyé au réparateur...

R9: Oui c'est plus visible où on en est dans le process.

Doctorante : C'est ça, et c'était lié au côté banque de données plutôt que maquette numérique 3D, pour pouvoir pointer que c'est cet équipement-là qui a un problème, et on est à ce stade là du processus de réparation.

R9: Quelque chose qu'on a comme objectif d'utiliser dans le futur, c'est tu construis le bâtiment, tu utilises le bâtiment, mais pendant la période que tu utilises, il y a beaucoup de petits changements dans les rayons. Il y a un type de rayon qu'on appelle 50, ça veut dire que c'est 5 palettes pour les choses dans le magasin, mais quand c'est un 60, il y a 6 palettes. Ça peut changer tous les différents rayons qu'il y a là, c'est une centaine, combien de centaines de rayons dans un magasin. Mais quand ça change, on doit..., parce que dans le bureau du dessinateur, on fait le as-build de tous les aménagements ou des bâtiments, mais quand ils ont pas reçu les changements dans les magasins, on peut pas adapter les plans. Alors maintenant il y a un process: "ok je change dans le magasin, je suis un technicien, je dois faire un mail avec une explication de quel rayon est changé, ou j'utilise un plan et je note ou je dessine la modification". Et je donne ça à mon chef, et il va contrôler ça ou regarder ça pour dire si c'est ok, c'est bien, c'est clair. Il fait ça dans le poste intérieur du magasin et puis ça revient dans le bureau du dessinateur pour qu'il change les plans. Dans mon rêve il y a un système, le même système avec les PDA, les techniciens scannent peut-être avec un viewer, avec quelque chose de digital: "ah c'est ce rayon-là, c'est 50, alors c'est adapté comme ça". Et à ce moment-là il y a une alarme ou un issue, qui suivrait ça dans le bureau du dessinateur : "Ah dans le magasin de Braine-le-compte, le rayon avec le numéro 160, c'est ce rayon je le vois dans mon plan parce qu'il a scanné ça et j'ai directement l'adaptation que je dois faire". Parce que dans les plans c'est les datas qui reviennent, et c'est les datas qui sont utilisées par tous les gens qui en ont besoin, mais quand le plan est pas correct, la data est pas correcte. Et bullshit in et bullshit out comme on dit. Et on perd la confiance dans la data, quand on voit la data dire qu'il y a 10 de rayon comme ça, et je suis dans le magasin et je vois pas 10, je vois 12. Ah beh c'est pas correct, je peux pas utiliser la data. Et maintenant c'est un peu comme ça. On fait des travaux pour adapter ça, pour

garder ça à un niveau acceptable mais c'est pas facile. Et quand il y a des outils qui peuvent aider ça, ce process, ça c'est super. Mais aussi, ça doit être pas trop compliqué pour le technicien.. "ah je vais scanner, je vais donner ce code-là, je vais faire ça et ça". On perd le type.

Doctorante : Et donc c'est presque une adaptation du dernier point, puisque c'était faire un diagnostic des pannes à distance, sur base d'une communication virtuelle avec les usagers, et c'était vraiment ça, se dire que l'utilisateur fait une photo par exemple, ou un scan, mais du coup avec une meilleure technologie on peut faire un scan et l'envoyer et déjà anticiper le problème avant même d'arriver sur place.

R9: On utilise maintenant... on a des vidéos 360, on a fait des images 360 avec une gopro, on a fait le tour dans tous les magasins. Tu peux pas mesurer mais tu as justement une vidéo, je peux te montrer. Ce sera plus simple (cherche sur son ordinateur). Alors ça c'est notre portail quand tu as besoin des choses d'un site. Tu choisis un magasin, tu as la photo, la vue aérienne, certaines datas, tu as des plans de base du site, de configuration ou d'aménagement, et tu as le 360. Pouvoir regarder les images permet d'économiser un déplacement à la filiale. Comme tu as dit tu comprends l'environnement déjà et tu dois pas faire le tour "ah c'est comme ça", revenir au bureau, commander la pièce, retourner sur place. Quand tu es à Halle vers Dardennes, la Bourgogne ou quelque chose de loin...

Doctorante : Donc c'est quelque chose que vous faites déjà en fait ?

R9: Oui. On a ça depuis fin novembre de l'année passée. (montre la vidéo du magasin) C'est un peu basique mais bon.. oups je vais couper le son. (clique sur le plan pour faire avancer la timeline de la vidéo jusqu'à l'endroit du plan). On fast forward dans la vidéo, tu as le choix, pour 4k ou 2k pour la qualité de l'image. Sur le wifi ce sera peut-être un peu lourd.

Doctorante : Oui je comprends l'idée.

R9: Oui, et on a ça pour le magasin ou pour la plateforme technique, on peut voir en photo comment ça fonctionne ou les panneaux d'électricité et tout ça. Tu dois pas te déplacer pour comprendre comment ça fonctionne. Sur certains points on doit choisir où on investit dans le modèle, et peut-être qu'on a pas besoin de la vidéo là, maintenant c'est un peu doublon mais bon.

1:35:54 > 1:39:59 [Communication entre les acteurs du projet]

R9: « Communication entre les acteurs du projet »... « Identification des échanges liés au projet »... C'est pendant la phase de construction par exemple, c'est quoi le...

Doctorante : Oui là c'est pendant qu'on est en train de concevoir ou de construire, ça dépend, par exemple si le concepteur a fait son projet et ensuite l'ingénieur en stabilité vient vérifier que tout va bien, il peut communiquer dans la maquette avec un recensement dans la maquette et donc on sait revenir en arrière pour voir qui a dit quoi à quel moment.

R9: Oui ça c'est l'objectif, on fait ça un peu avec Dialux maintenant, sur un système de cloud, on met tous les modèles là et on utilise les issues et on fait des clash et on dit "ça doit être adapté par ça, c'est pour toi, tu dois faire ça". Pendant la réunion de coordination avec toute l'équipe et le coordinateur, et ça c'est l'objectif. De faire ça avec les outils Autodesk. Autodesk construction cloud, l'environnement docs. On travaille ensemble avec tous les modèles qui sont là, le coordinateur fait son tour, et dans la réunion il dit "ça c'est pas bien". Ou d'autres choses "ça peut être mieux de faire ça comme ça, vous avez un project manager qui a pas Revit, donc il comprend pas Revit mais il a un viewer, et il peut facilement comprendre le bâtiment, où il y a un problème. Il peut utiliser ça déjà maintenant". Le PM, Yann, qui utilise ça pour un projet il a pas Revit ou Allplan mais il utilise le viewer et il passe avec le viewer ou dans son écran "ok on est là maintenant, je vois ça et ça". Et il demande ça à son équipe "c'est quoi ça, c'est déjà bien fait ou pas ?". Et il fait des issues si besoin. Et on a choisi de choisir une suite, tous les softwares d'une même famille pour que ça fonctionne mieux entre le logiciel qui fait la modélisation, le Revit, le cloud et les clashes de tous les issues. Ça peut être

directement entre les différents outils, tu dois pas synchroniser. Quand tu as des issues pour toi comme BIM modeleur, pendant les réunions de coordination, ce point c'est pour moi, c'est pas dans un email que je dois regarder. J'ai ouvert Revit, je suis dans ce projet, j'ai tout mes issues, je clique, je vais directement à cet endroit et je vais adapter, je peux dire que c'est résolu, ou avoir une question "ah c'est pour le project ingénieur, qu'est ce qu'on va faire avec ça ?" et du coup il fait ça directement.

Doctorante : Et ça du coup c'est déjà maintenant ?

R9: On est dans la phase d'intégration. On a choisi Autodesk mais on doit encore choisir, le partenaire qui fait la formation et tout ça.

Doctorante : Ok. Est ce que vous avez quelque chose à ajouter ?

R9: Je pense qu'il y a assez (rires)

1:39:59 > 1:40:39 [Outro]

Doctorante : Ok, du coup merci beaucoup. Pour information ce qui a été utilisé ici je vais le retranscrire pour pouvoir l'analyser et ce sera associé à un profil pas à un nom, donc architecte ou BIM manager.

R9: Oui ok.

Doctorante : Donc c'est anonyme.

R9: Ok. J'espère que ce sera quelque chose que tu peux utiliser.

Doctorante : Oh oui je pense oui (rires). Non c'est très chouette. Merci encore et merci de l'avoir fait en français parce que pour retranscrire c'est plus facile quand même.

R9: (rires) Je comprends !

=====  
230724 – R10  
=====

00:00 > 03:30 [Profil]

Doctorante: L'enregistrement sera uniquement utilisé dans le cadre de ma thèse et c'est juste pour retranscrire plus facilement ce qui me permettra après d'analyser plus facilement. Du coup, je vous remercie d'avoir accepté de participer à cette enquête. Là l'entretien va se dérouler en 3 parties, deux premières parties qui sont plutôt rapides et servent à cerner votre profil un peu plus rapidement et à vérifier qu'on utilise les mêmes définitions. Donc je vais utiliser certains mots pour voir si on a la même signification derrière ces mots. Ensuite, la partie principale, qui se basera sur un document que j'ai ici, va questionner vos habitudes par rapport à la mise en place d'une forme de durabilité dans les pratiques BIM. Donc ma première question est : qu'avez-vous suivi comme formation et combien d'années d'expérience avez-vous dans le milieu de la construction?

R10: Donc je suis architecte de formation et je suis sorti en 2004 et depuis j'ai toujours travaillé dans le milieu de la construction soit en tant qu'architecte soit en tant que (s'arrête) (sonnerie de téléphone). C'est à vous?

Doctorante: Non, il y quelqu'un qui téléphonait avant à mon avis il l'a oublié. Mais je ne sais pas qui c'est par contre (sonnerie continue).

R10: Donc 2004, j'ai fait 4-5 ans d'architecture puis après j'ai été chef de projets dans des bâtiments durables à Bruxelles environnement pendant 4-5 ans. Puis après je suis devenu chef de projets ici à Mon entreprise où je suis maître d'ouvrage.

Doctorante: Quand avez-vous commencé l'utilisation du numérique ? En particulier le BIM. Est-ce quelque chose que vous utilisez régulièrement et si oui comment êtes-vous arrivé à l'utiliser?

R10: Alors je ne l'utilise pas régulièrement. Enfin tout dépend ce que veut dire utiliser. Mais Mon entreprise a pris le parti d'appliquer le BIM à l'entièreté de ses projets. Ça c'est la base de départ et moi je gère un projet à Mon entreprise qui est la restauration et rénovation du conservatoire royal de musique et dans ce cadre-là on a appliqué le BIM. C'était un des premiers projets sur lequel le BIM s'appliquait. On a attribué le marché en 2018 et depuis lors je côtoie le BIM et donc en 2018 ça a commencé à être mis en place avec le protocole etc. Là on en est au stade du permis d'urbanisme pour la construction. Donc on est en train de construire le dossier d'adjudication donc là le BIM rentre de plus en plus en action et moi j'en ai une utilisation toujours très frustrante mais (souffle) c'est ma position de maître d'ouvrage délégué qui fait ça.

03:30 > 04:14 [Formation durabilité] [Formation numérique]

Doctorante: Et quand vous avez commencé à travailler en BIM vous avez eu ou aviez déjà suivi une formation avant ou vous avez appris sur le tas?

R10: J'ai complètement appris sur le tas. Formation via le Mon entreprise mais informelle car j'étais membre de groupe de travail là-bas. Une formation BIM je n'en ai pas eue. J'ai souscrit à des licences donc j'avais accès à des formations mais qui étaient plutôt sous forme de tutoriels et démonstrations de la capacité du BIM plutôt qu'une formation à proprement dire. Ce qui m'handicape beaucoup aujourd'hui.

04:14 > 06:29 [Définition des concepts] [Concept architecture durable]

Doctorante: Ensuite je vais passer à ma deuxième partie sur les définitions. Je voudrais savoir, si vous deviez donner brièvement des mots-clés du concept d'architecture durable, quels mots-clés vous viennent à l'esprit lorsqu'on vous parle d'architecture durable.

R10: Alors aujourd'hui pour moi, l'architecture durable c'est l'architecture efficiente. C'est circulaire et (réfléchi) euh. Le comble c'est que je suis coordinateur durabilité de Mon entreprise et (ne termine pas sa phrase). Donc la construction, l'architecture, (s'embrouille dans ses mots). Pour moi l'architecture c'est le bon sens. Surtout l'architecture durable et la construction circulaire sont celles qui englobent les notions de circularité et donc de ressources, d'efficience dans les moyens développés tant pour le concevoir que pour le vivre et le construire. Oui globalement c'est quelque chose comme ça

Doctorante: Ok, moi la définition de l'architecture durable est forcément très théorique parce que c'est complètement dans le cadre de ma thèse. Donc c'est une architecture qui est socialement équitable, écologiquement soutenable et économiquement viable. Donc c'est complètement basé sur la définition du développement durable. Du low tech au high tech et qui s'organise autour de concept de soutenabilité qui mettent à la fois en avant les concepts de durabilité des projets dans le temps et d'acceptabilité sociale et environnementale. Donc c'est très large mais parfois même les gens experts ne savent pas car ils sont tellement dedans qu'on ne sait plus mettre des mots dessus. Mais ici ma définition est très large aussi. Et du coup je voulais vous demander, selon vous quelles sont les thématiques qu'on peut traiter avec le BIM pour la construction durable ?

06:29 > 08:00 [Définition des concepts] [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM]

R10: Mais c'est bizarre dans votre interview vous ne demandez pas quelle est la définition du BIM

Doctorante: Oui

R10: Parce que vu mon expérience tout à fait limitée, je peux tout de même apercevoir que le BIM souffre, pas des mêmes travers car on en parle beaucoup moins, mais d'une mécompréhension incroyable dont souffrent tant les auteurs de projets que la maîtrise d'ouvrage et les utilisateurs finaux. Donc pour faire court, la BIM tel que je le comprends aujourd'hui est une base de données centralisée du projet, point. Et c'est comme ça que j'essaie de la concevoir et de le maintenir dans mon cerveau. Et il y a différents moyens pour y arriver mais la difficulté est de les coordonner ces données. Mais pour moi c'est vraiment une grande base de données centralisées.

Doctorante: En fait, moi je le complète avec l'aspect visualisation mais qui est induit de manière évidente et l'aspect collaboration qu'il y a autour de cette base de données. Donc pour moi il y a ces trois piliers-là : base de données, visualisation et collaboration. Sachant que tout le monde ne le fait pas au même niveau: parfois il n'y a pas de collaboration, parfois qu'en interne ou en externe. Enfin il y a plusieurs niveaux de développement du BIM mais c'est sûr que la base de données est vraiment au centre de la définition du BIM.

R10: Beaucoup croient que c'est que de la visualisation, ou souvent on prend ça comme ça.

Doctorante: Oui c'est sûr.

08:00 > 18:42 [Définition des concepts] [BIM et durabilité sociale]

R10: Enfin bref. Donc pour revenir à votre question c'était quoi?

Doctorante: Mais du coup, comment peut-on utiliser le BIM pour créer une architecture durable?

R10: (réfléchit) C'est vrai que quand vous m'avez posé les questions de l'interview, vous m'avez posé cette question-là mais (réfléchit)...

Doctorante: Ça peut être quelque chose que vous avez appliqué sur le projet dont vous me parliez tout à l'heure.

R10: Etrangement, pour le projet du conservatoire, on se veut durable et on le traduit en faisant une certification tiers via le Breeam et, sauf si je me trompe, je n'ai pas l'impression que ça a beaucoup d'impact sur le BIM. Par contre j'utilise d'autres outils dans le cadre de ma fonction de coordinateur à savoir le GRO. Je ne sais pas si vous voyez.

Doctorante: Non.

R10: GRO est un outil développé par la Flandre mais qui se veut circulaire avec les 3P etc. et qui va être adapté en région wallonne et bruxelloise d'ailleurs. Là-dedans, ça se rapproche plus du BIM étant donné que tout est... (ne finit pas sa phrase). Enfin bref, moi j'entrevois l'apport du BIM dans la durabilité dans le fait de voir que le BIM impose cette vision plus 360, et même plus de la construction. Quand on conçoit en BIM, ça impose une coordination et un entrelac, tels que l'attestation de la durabilité pourrait être facilitée. Mais quand j'y réfléchis tout haut comme ça il ne me semble pas que le BIM induit la durabilité. Ça certainement pas. En revanche, mon grand débat est de pouvoir démontrer la durabilité, démontrer que le bâtiment dit « durable » est plus durable que le bâtiment sans l'étiquette de durable. Et toute la question est de savoir la nécessité de cette étiquette et de savoir qui la colle et est ce qu'il y a réellement des valeurs de durabilité.

Doctorante: Donc c'est plutôt un outil d'évaluation de la durabilité plutôt qu'un outil d'aide à la conception vers la durabilité.

R10: Dans un premier temps je pense qu'au vu de toutes les données qui s'y retrouvent, le fait de pouvoir évaluer la durabilité, on compte toutes les données des matériaux, les surfaces tout ça va permettre de caractériser plus facilement le bâtiment. Et donc d'en sortir des notions de confort thermique, acoustique, visuel, intégration dans son environnement, la perméabilité des matériaux. Donc tout ça va pouvoir être traité. L'émission des CO2, l'énergie grise, les LCC. Tous ces trucs-là pourraient être facilités, tous les calculs. Mais est-ce que ça suffit à être de l'architecture durable? Donc c'est pour ça que je traitais de la construction durable, puis on a de l'architecture durable où là on traite des équations d'espaces par rapport à un programme. L'application de la localisation par rapport à un programme, tout ça le BIM tel que je le connais n'est pas... (hésite). Ce n'est pas un outil d'analyse... (hésite) de ces questions-là. Après je me trompe peut-être. Après, outre les aspects quantitatifs de la durabilité du bâtiment construit ou projeté... (hésite) dans les pratiques si on évoque le volet social j'imagine que... (hésite) Mais ça on n'a pas encore beaucoup utilisé mais j'aimerais bien. On peut utiliser cet autre aspect qui est la visualisation pour partager et faire prendre conscience des enjeux qu'on veut faire prendre conscience ou partager aux futurs utilisateurs. Et dans mon métier c'est particulièrement important car on a des maîtres d'ouvrage qui construisent pour d'autres. Donc nous on sait lire les plans et instructions techniques et on a l'impression que c'est induit chez nos clients. Or ce n'est pas le cas et bon nombre de fois, on a des bonnes et des mauvaises surprises en chantier ou post réalisation. Et je pense que ces aspects-là peuvent être si pas réglés, traités grâce au BIM et aussi dans des questions de manipulation et gestion des bâtiments. Là on s'attaquerait aussi à la durabilité dans le sens pérennité des bâtiments dans leur entretien, dans leur manière de vivre. Parce qu'il y a toujours la question qu'un bâtiment peut être durable ou pas, c'est la pratique qu'on y fait qui devrait être durable dans la manière de consommer le bâtiment. Parce que ce n'est pas le bâtiment qui consomme, ce sont les utilisateurs. Enfin voilà.

#### Définition des concepts - Durabilité sociale

Doctorante: Vous avez un peu abordé le volet social et je voulais vous demander comment vous pourriez définir le concept de la durabilité sociale.

R10: Alors nous la durabilité sociale on l'aborde, alors moi j'aime beaucoup le terme "inclusivité", qui regroupe selon moi les notions d'accessibilité tant dans un milieu urbain ou pas. Enfin nous on travaille que sur la région Bruxelles-capitale du coup c'est très urbain. Enfin en flamand il y a le "toegankelijk" et le "bereikbaar" c'est le fait d'atteindre le bâtiment. Donc il y a l'atteignable et l'accessibilité donc il y a les deux concepts qui sont importants je trouve. Donc il y a le parcours dans le bâtiment c'est notamment l'accessibilité PMR, il y a une question qui est de plus en plus mise au goût du jour dans nos projets c'est l'inclusivité. (Hésite) Donc qu'est-ce que je disais? Donc sociabilité ou inclusivité des habitants, des riverains, des futurs utilisateurs donc ça c'est par rapport à l'évolution du programme, du parti du projet c'est important dans en quoi les utilisateurs sont rendus responsables de leur bâtiment dans leur utilisation. Est-ce qu'on leur permet d'interagir, est-ce qu'on peut leur donner la possibilité de modifier leur confort, leur espace plus ou moins passivement? Est-ce qu'ils ont les moyens pour ? Est-ce qu'ils ont des formations en BIM si jamais le BIM est un modèle pour la facilité du management ? Après on a aussi toute une enveloppe de clauses sociales. Donc c'est le fait d'utiliser le bâtiment ou le chantier comme développeur social pour pouvoir mettre à l'emploi, former de manière spécifique les gens qui sont en recherche d'emploi. Et nous par rapport à notre fonction de service public je trouve qu'il y a un devoir d'exemple à mener et que c'est aussi à niveau socio-économique de se demander quelles ressources sont utilisées pour qui et dans quelle proportion. Enfin c'est le bon usage de l'argent public. Mais je trouve que c'est un apport social assez important. Mais on ne fait pas que des projets de bâtiments, on fait aussi des projets d'espaces publics. Donc là, le côté social peut parfois être complètement nié parce qu'on n'arrive pas à faire de la participation. Parfois la participation foire complètement, parfois elle est très riche d'enseignements et parfois en 5 ans la population change et l'échelle de temps de développement d'un projet est longue donc c'est compliqué.



18:42 > 40:13 [Sécurité]

Doctorante: Là on a fini mes deux premières parties et c'est à ce moment que je vous donne la vraie thématique de ma recherche parce que là je suis restée très vague. Quand je dis « BIM et pratiques durables » c'est assez vague, mais en fait c'est plus spécifiquement la durabilité sociale avec les pratiques BIM. Et c'est super intéressant parce que là vous avez déjà cité pas mal de choses. En fait, je vais vous donner cette feuille recto verso. A chaque fois on a deux colonnes, la première c'est une thématique de durabilité sociale et dans la deuxième ce sont des usages potentiels du BIM qui peuvent faciliter ce critère de durabilité sociale. Le premier est par exemple « sécurité » ce qui n'est pas forcément ce à quoi on pense en premier lorsqu'on évoque la durabilité sociale. Pourtant la sécurité des humains qui construisent et qui vivent dans le bâtiment, ça fait partie du bien-être global.

**R10: Oui la sensation oui.**

Doctorante: Donc en fait, pour information, ces critères sont issus d'une étude très globale qui a été menée pas par moi, mais par d'autres personnes qui ont retiré ces thématiques-là comme étant potentiellement "croisables" avec le BIM. Et, dans la liste vous avez, des usages avec des tirets qui sont ceux directement liés à cette étude, et puis les usages avec les étoiles qui sont ceux tirés de précédents entretiens que j'ai faits avec d'autres personnes. Puis cette grille ce que je vais vous demander de faire est qu'on passe les usages en revue un à un et qu'on puisse les situer dans le temps. C'est à dire est-ce qu'il s'agit d'un usage qu'on a utilisé dans le passé mais qu'on utilise plus maintenant, est-ce que c'est un usage ancré dans le présent qu'on fait maintenant de manière fluide, est-ce que c'est quelque chose qu'on utilisera dans le futur de manière certaine mais qu'on n'utilise pas encore ou alors ce serait idéal mais ça ne se produira pas pour des raisons que vous pourriez,...

**R10: Dans ma pratique ?**

Doctorante: Dans votre pratique, mais aussi dans votre vision personnelle car vous avez tout votre background d'architecte. Donc vous avez aussi une vision globale de ce que ça pourrait donner. Et évidemment vous pourriez aussi rejeter un usage en me disant ce que vous pensez...

**R10: Ce sont les usages ça ?**

Doctorante: C'est ça oui.

**R10: Et ça ce sont les critères ok.**

Doctorante: Donc moi ce que j'ai vraiment besoin d'avoir c'est la situation "passé, présent, futur, idéal ou rejet" et puis vous pouvez argumenter sur certains ... enfin si vous avez envie d'expliquer pourquoi vous le situez dans telle ou telle catégorie de temps, de quelle manière il est ancré...

**R10: Donc il faut remettre c'est quoi? Passé, présent, futur et idéal ou rejet?**

Doctorante: C'est ça. Donc: passé, présent, futur c'est assez simple, mais on a rajouté rejet car j'avoue qu'on n'y avait pas pensé au départ, mais finalement certaines personnes ont rejeté les usages qu'on leur proposait, et idéal parce que parfois il y a des choses qui pourraient être vraiment bien mais qu'on pense qu'elles ne se produiront jamais parce que manque de moyens financiers ou humains ou, enfin, qui pourraient être bien, mais qui ne se produiront pas. C'est la différence entre futur où on est sûr que ça va se produire et idéal où ce serait bien mais ça ne se produira sûrement pas. Ça va la question est claire?

**R10: Euh oui, oui , oui , oui.**

Doctorante: Donc là on va commencer par la thématique de la sécurité qui est la plus longue. Et le premier critère est celui d'utiliser des données de précédents chantiers pour pouvoir éviter les risques et accidents fréquents.

R10: Et c'est quoi les données?

Doctorante: Donc par exemple avoir réalisé des bâtiments d'un certain type.... Par exemple un bâtiment de logements, on l'a réalisé plusieurs fois et en fait en analysant les accident qu'il y a eu sur ce chantier on se rend compte que en fait c'est très systématique d'avoir des accidents autour de telle infrastructure ou à tel moment du chantier. Pour qu'on puisse les anticiper et qu'ils ne se reproduisent pas dans le futur.

R10: Donc vous couplez la fonction CSS "contrôle, sécurité, santé" au BIM?

Doctorante: Oui

R10: Aujourd'hui, mon coordinateur sécurité utilise beaucoup la maquette BIM, pour voyager dedans, pour se rendre compte bien mieux qu'en plan des potentiels dangers, mais notre maquette BIM n'est pas en 4D. Donc il n'y a pas de phasage de chantier dedans. Ce serait génial pour certains aspects mais disons que si on le développait pour l'aspect logistico-économique, il serait utilisé d'office pour faire une analyse sécurité. Disons que ce serait (réfléchi) ... j'ai envie de dire idéal mais (hésite) ... mais c'est entre le futur et l'idéal parce que c'est juste une question de moyens, ce n'est pas si compliqué. Donc à mon avis pour les projets à 200 millions.

Doctorante: Donc ça dépend un peu de l'échelle du projet?

R10: Je crois oui. Ou ça pourrait être plutôt, ça pourrait être intéressant, plus imposé en condition d'exécution : que l'entrepreneur fasse son plan de chantier en BIM. Oui pourquoi pas, mais on n'y est pas encore. Donc futur quoi.

Doctorante: Ok.

R10: Je crois que vérification des règles de sécurité... Pareil.

Doctorante: Futur aussi ?

R10: Ça dépend, règle de sécurité en chantier ou règles de sécurité pour l'exploitation... En chantier c'est plutôt la première ligne. L'exploitation donc c'est déjà maintenant? Enfin l'incendie est qu'il est déjà ... je n'en sais rien. L'incendie ça pourrait être... on a fait des simulations d'incendies, elles ont dû être refaites mais ça s'apparentait très fort au BIM car il y avait un plugin. Ça pourrait être très efficace car ils ont dû tout redessiner. Règles de sécurité ... Quoi ? Garde-corps et des trucs comme ça ?

Doctorante: Oui par exemple mais la question est vaste donc c'est en fonction de comment ça vous parle.

R10: Oui bah ça on le fait quoi. On peut tout de suite voir là où il a des allèges qui sont plus hautes ou plus basses. Voir les chemins d'évacuation... Donc ça ce sont les règles de sécurité. Pour l'incendie on peut voir facilement les parois RF, les conduits. Tout ça, est-ce que c'est fait je ne sais pas mais en tout cas c'est du présent.

Doctorante: Oui ok. Le point suivant c'est estimation du coût des équipements de sécurité.

R10: Oui oui c'est présent.

Doctorante: Donc là les deux points suivants, ils sont un peu liés donc c'est: localiser sur chantier en temps réel des ouvriers et équipements et utiliser des capteurs dans le casque des ouvriers pour pouvoir les localiser sur le chantier.

R10: Enfin nous, sur nos types de chantiers, ce ne sont quand même pas des chantiers kilométriques. Enfin il y en a mais .... À l'échelle d'un bâtiment honnêtement je préférerais avoir un capteur qui me dise que le casque est sur la tête plutôt qu'un capteur qui localise le casque. (Rire) C'est autre chose quoi. Ce sont des questions... en tout cas le premier c'est plutôt question d'antivol mais raccorder au BIM ...

Doctorante: OK

R10: Et le casque pour moi c'est un équipement de sécurité qui a pour but de couvrir la tête des hommes mais pas de savoir où ils sont quoi.

Doctorante: Ensuite on a le point: visualiser des espaces de sécurité qui sont requis pour manipuler des équipements. Donc c'est pouvoir mettre dans la maquette des gros équipements, par exemple une grue, et puis pouvoir visualiser les espaces de sécurité qui sont requis autour pour pouvoir organiser justement le positionnement de ces équipements.

R10: Oui oui à fond c'est présent. Enfin, nous on ne le fait pas parce qu'on ne fait pas de 4D mais c'est possible et ce serait très bien. Et oui, tout ce qui est zones de chantiers, empiètement sur les voiries, comment on fait pour préserver les passages piétons de manière sécurisée enfin oui tout ça c'est très important.

Doctorante: Un peu dans le prolongement de ce critère-là, on avait aussi identifié les conflits horaires entre équipes ou équipements lourds. Pour pouvoir vérifier que des équipes non qualifiées ne se retrouvent pas à côté d'un équipement qui pourrait être dangereux. Ça vous semble être dans le présent aussi, faisable maintenant?

R10: Oui oui complètement... Enfin faisable d'un point de vue chef d'équipe, chef de projet, chef de conception. (Lis la feuille). Après faire en sorte que ces équipes ne soient pas en conflit les unes avec les autres ...

Doctorante: Effectivement ça c'est autre chose.

R10: En tout cas le prévoir, le conceptualiser, le rendre effectif c'est autre chose.

Doctorante: Ensuite, on avait la gestion des interventions en cas d'incendie.

R10: (hésite longuement) Donc ça c'est un peu plus futur. Mais ça fait partie de la gestion des interventions ... Mais oui en fait je ne vois pas tellement de freins à ça. Peut-être le plus grand frein c'est l'équipement du CMU, tout ce qui est de le donner. Que ce soit compatible ça pourrait être très bien. Comme je disais avant, on pourrait avoir du BIM compatible avec des logiciels d'évacuation de fumées tout ça. Après demain quoi.

Doctorante: Ensuite, le dernier point qui était identifié dans l'étude c'était, parfois c'est des trucs très exploratoires pas forcément dans l'étude parce qu'ils l'ont vu quelque part mais ils identifient juste un potentiel, donc c'était l'entraînement des usagers aux règles de sécurité. Donc c'était de pouvoir utiliser la maquette pour pouvoir communiquer avec les usagers des règles de sécurité.

R10: C'est séduisant mais c'est superflu. Dans le sens où c'est, enfin il faut rester simple dans... (réfléchit). Enfin nous à notre échelle, les usagers, on ne va pas pouvoir les avoir tous autour d'une réunion pour pouvoir leur présenter, ni avec une vidéo en leur disant machin. Je pense que des bons pictos et 5 personnes sur le site qui connaissent les règles de sécurité et un système de "Voice to all" c'est plus efficace qu'un Xème hum... en tout cas pas aux usagers. Peut-être à certains types d'usagers. Des représentants des usagers.

Doctorante: Oui je comprends. Ensuite on rentre dans les points qui ont été soulevés par d'autres personnes interrogées. Donc ces points étaient soit ancrés dans le présent, donc ils le faisaient déjà, soit ils disaient que ça pourrait être bien de le faire. Donc tout n'est pas ... Enfin certaines choses sont idéales mais c'est juste pour voir comment vous vous situez par rapport à ça. Donc le premier c'est "modéliser les aménagements liés à la sécurité en phase de conception. C'est quelque chose que vous pensez qui se fait déjà?"

R10: Oui oui, moi j'ai mes règles de sécurité qui sont là hein.

Doctorante: Ensuite on a "modéliser les équipements de chantiers par l'entrepreneur" mais je pense que vous en avez un peu parlé tout à l'heure.

R10: Oui ça j'aimerais bien.

Doctorante: Y compris les équipements provisoires ou mobiles, donc la personne avait insisté là-dessus en intégrant une composante temporelle. Donc pouvoir dire: de tel moment à tel moment, il y a des échafaudages et que ce soit intégré dans la base de données. Les échafaudages, les gardes corps, toutes ces choses-là.

R10: Ça ce serait top. Mais... déjà en plan, croquis à la main sur un bac de bière j'ai déjà du mal alors de l'avoir en BIM. Je ne sais pas, je trouve ça très intéressant, mais c'est plutôt une vision du maître d'ouvrage qui a envie d'être confortable quoi. Le mec un peu pragmatique il fait ça très bien sur 5 plans avec 5 feuilles différentes et ça va aussi. Donc s'ils ont un peu trop de budget c'est cool. Nous il y avait des trucs qui sont utiles mais... pour les phasages... Oui il y a des trucs qui sont vachement utiles pour des phases de chantiers temporaires d'acheminement de grands éléments ça peut être vachement utile. De pouvoir dimensionner tel ou tel échafaudage pour pouvoir.... Ça pourrait être utile d'avoir un truc 3D qui illustre le chemin d'une poutre pour savoir si ça passe à travers des câbles ou des trucs comme ça. Ça peut être intéressant. Mais alors on modélise juste ce moment-là ou ce truc-là. Pas en faire quelque chose de systématique je crois que ce n'est pas... Enfin ça c'est vraiment idéal quoi.

Doctorante: On a également "vérifier les réglementations et normes d'accès PMR". Ça, vous en avez un peu parlé tout à l'heure, mais je ne sais plus si vous le positionnez comme quelque chose de passé, présent ou idéal.

R10: Non c'est présent

Doctorante: Avec le BIM alors ?

R10: En fait, c'est avec les 2. Parce qu'il y a le visualisateur BIM qui permet certaines choses, mais en fonction de l'équipement de notre conseiller accessibilité il sait faire des filtres, tout ça.

Doctorante: Ensuite on a "visualiser les zones nécessaires à la maintenance du bâtiment". Donc ça c'est plutôt en phase exploitation du bâtiment pour pouvoir anticiper de conserver ces zones. Une des personnes qui mentionnait cet élément parlait d'un exemple où on avait rajouté une gaine technique et donc la personne responsable de la maintenance ne savait plus accéder à la zone et en faisant le plan on ne s'en était pas rendu compte. Donc avoir l'aspect visualisation aurait peut-être permis de se rendre compte de ça.

R10: Oui ça c'est hyper important. Nous, à côté des éléments, il y a la zone de maintenance qui est dessinée aussi. Il y a aussi la zone d'installation. Enfin c'est plus ou moins la même hein. Parce que c'est bien de faire un spaghetti de tuyaux, mais si on ne sait pas les isoler par après, des choses comme ça... Donc c'est important.

Doctorante: Donc c'est quelque chose que vous faites déjà?

R10: Oui.

Doctorante: Ensuite on avait "utiliser la maquette en tant qu'interface de visualisation des alertes de sécurité liées à la maintenance des équipements". Donc dans l'idée de pouvoir avoir une alerte dans la maquette pour dire "tiens il y a un dysfonctionnement" ou c'est pour avoir le temps de faire l'entretien de telle ou telle chose'.

R10: Ah bah ça pour moi le BIM ça a été inventé pour. Avant que je ne sache ce que c'est le BIM, pour moi c'était ça l'objectif. Et alors aujourd'hui on le définit comme ça.

Doctorante: Et du coup c'est présent ou...?

R10: Pour l'anecdote, nous il était question des badges de portes dont certains sont sur pile et je me disais "qui me dit que la pile est plate ?" ou les ampoules qui demandent entretiens. Donc pour moi c'était lié au BIM. Donc on m'a dit "oui c'est possible il suffit de paramétrer" mais je ne suis pas encore dans l'étape de transformation de la maquette en faciliter management. Donc moi je veux que je fasse ça, je suis en train de sensibiliser mon utilisateur final à ça, mais sachant que ça va être utilisé qu'en septembre je me dis que j'ai le temps et que la technologie va évoluer et que j'y arriverai. Donc c'est un futur proche. "Utilisation du modèle numérique par les pompiers".

Doctorante: Donc la personne qui en parlait disait que c'était pour se repérer dans le bâtiment, pour pouvoir ne pas utiliser les plans mais plutôt la maquette. Donc c'était vraiment le côté visualisation. Et aussi la base de données pour pouvoir connaître l'état du bâtiment en fait.

R10: Oui c'est vrai pourquoi pas. (Réfléchit) Surtout en tel si tu n'as pas .... Pour voir l'idée .... Je crois que... Euh oui pourquoi pas.

Doctorante: Donc idéal ou futur. Vous n'avez pas l'air d'être sûr que ça se produira mais ça pourrait être bien?

R10: Ça pourrait être bien oui.

Doctorante: Et vous voyez un frein au fait que ça se produise ?

R10: (Réfléchit) Je préférerais qu'il y ait plus de pompiers que des pompiers avec des smartphones. Je crois que si on leur demande, la réponse serait plutôt qu'ils veuillent avoir des bons camions et des bons tuyaux d'arrosage. Un smartphone ce serait sympa, mais à manipuler avec des gants... je ne sais pas. Ça pourrait être pas mal d'utiliser le BIM comme exercice d'intervention en réalité virtuelle pour entraîner les équipes des trucs comme ça avec des casques etc. Donc ça l'utiliser comme ça, mais pour le bâtiment en lui-même... Pas sûr.

40:13 > 51:30 [Confort des usagers]

Doctorante: Ok. Le deuxième point c'est le confort des usagers. Dans ce point-là on a par exemple : "la collecte des données liées à l'occupation du bâtiment" donc ça, c'est plutôt en phase d'exploitation.

R10: Présent

Doctorante: Ah bah donc vous le situez dans le présent ?

R10: Oui après je ne vois pas l'intérêt, mais disons que des lecteurs de bases qui récoltent... Après est-ce que c'est envoyé sur le BIM, je ne vois pas l'intérêt. Mais si après ils peuvent faire des statistiques que ce soit sur la consommation par... Ah oui ça pourrait être intéressant.

Doctorante: Et ça vous semble faisable?

R10: Oui oui. Ça ne me paraît pas extraordinaire mais oui.

Doctorante: Ensuite on a la "simulation de l'éclairage naturel" et un intervenant a rajouté "artificielle" aussi.

R10: Oui bien sûr il faut. Mais je crois que les modèles n'ont pas tout à chaque fois...il y aura jamais un outil qui sait tout faire. Et je comprends. Plus je voyage dans le BIM, plus je suis rassuré sur le Saint-Graal. Un modèle qui peut être exporté vers un logiciel qui fait ces simulations.

Doctorante: Donc dans le présent?

R10: Oui oui

Doctorante: Ensuite on a "l'identification des causes d'inconfort liées à l'agencement des espaces"

R10: C'est-à-dire?

Doctorante: Ça pourrait par exemple: pouvoir identifier qu'il y a un flux d'air à cet endroit-là parce qu'il y a une fenêtre ou une porte ou un grand couloir ou quelque chose comme ça qui pourrait générer de l'inconfort qui pourrait être acoustique aussi, thermique. Ce genre de choses. Pouvoir l'anticiper en phase de conception.

R10: (hésite) Oui. C'est plutôt dans l'idéal ça, mais c'est grosso modo faire tourner toutes les simulations en termes de dynamique, éclairage, ventilation, etc. sur le même modèle et voir qu'il n'y a aucun endroit de valeurs critiques qui soient dépassées. Mais ça ne me semble pas hors de portée. Est-ce que c'est complètement pertinent, je ne sais pas quoi.

Doctorante: Donc ça pourrait être faisable mais ce n'est pas spécialement utile? Ou peut-être pas forcément le meilleur outil pour faire ça ?

R10: Si c'est certainement (hésite longuement). Voyant tout ça, j'ai l'impression qu'on arrive à de la construction entièrement maîtrisée, paramétrée et ... (réfléchit) et oui c'est impressionnant. Ouais... Après on programme l'imprimante 3D et on construit quoi (rire). Ce n'est pas hyper rassurant parce que je sais pas... Vous avez une autre sensation de confort .... Enfin je ne sais pas.

Doctorante: Donc c'est quelque chose qu'un humain peut percevoir et n'a pas besoin du BIM en fait pour concevoir...

R10: Si si parce qu'on aurait besoin... Dans l'affectation du conservatoire par exemple, s'il a un flux d'air qui va au-delà des m/s c'est une catastrophe. Pas pour l'humain, mais pour les instruments. Et en fonction d'où il est et du sens, il faudrait qu'il aille des instruments au public et pas du public aux instruments. Et nous, on a changé tout notre modèle... Donc ça, ça pourrait être très efficace. J'imagine que dans les applications hospitalières, ça pourrait être hyper pertinent pour rendre plus efficace tout ce qui est flux. A mon avis c'est de l'optimisation fine, c'est très bien. Mais ce n'est pas du lowtech quoi (rire). Pour le coup.

Doctorante: Après je ne sais pas si on peut faire du BIM et du lowtech en même temps (rire). Ce n'est pas ça que je creuse dans ma thèse mais (rire). Mais par contre il y a un vrai questionnement... Moi les gens que je cherche, ce sont des gens qui connaissent le BIM et la durabilité et ce n'est pas facile parce que ce ne sont pas forcément des personnes qui s'intéressent aux mêmes choses quoi. Le point suivant c'est "le monitoring de la production d'électricité, de chauffage et de la ventilation". Donc ça, c'est pareil vous en avez un peu parlé tout à l'heure quand on parlait de durabilité sociale.

R10: Oui j'espère bien que c'est le cas. En tout cas le monitoring de tout, ça se fait déjà. Mais que ce soit raccordé au BIM, oui j'aimerais bien. Mais pour pouvoir vérifier justement toutes les causes d'inconforts (rire nerveux). En fait, ça va être juste : on va faire des contrats de bâtiments avec des injonctions de performances. Et s'il ne suit pas la performance, il ira droit vers les avocats. Ça va être ça. Mais enfin c'est déjà le cas hein. Et là-dedans, dans les premiers il y a 10 ans, on parlait déjà des contrats green deal où on passait les contrats de performance du bâtiment. Les promoteurs font ça. Ils te vendent un Breeam donc il doit consommer autant et si c'est plus il doit payer autant. C'est déjà ça. Donc c'est presque du passé. Oui donc dans la pratique c'est complètement futur proche.

Doctorante: Ensuite on avait "estimation des coûts du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers". L'idée c'est d'avoir des usagers voulant améliorer leur confort dans le bâtiment et qui du coup pourraient utiliser ce genre d'outil, mais donc ça nécessite qu'il y ait eu une maquette sur le bâtiment, pour pouvoir estimer le coût des rénovations.

R10: (réfléchit longuement) Oui nous on le fait. On ne l'a pas fait pendant cette étape-là mais... (réfléchit)

Doctorante: Donc c'est du présent?

R10: Oui oui c'est du présent.

Doctorante: Ensuite, dans les points qui ont été cités par d'autres intervenants, on a "l'amélioration de la compréhension du contrôle par les usagers de la consommation des équipements à partir d'une application de téléphone".

R10: Mais oui oui, ça se fait ou ça va se faire. Mais je compte là-dessus. Tout est renvoyé vers le Cloud et puis ça peut aller vers n'importe quelle interface.

Doctorante: Donc c'est plutôt un futur proche?

R10: Oui. Quand je dis ça au facility manager, il me dit oui, mais il me dit « quelle horreur » aussi.

Doctorante: Ensuite on a les analyses acoustiques avec la maquette BIM.

R10: Oui donc c'est encore le même questionnement par rapport à tout ce qui est confort, confort thermique, d'éclairage et pareil pour l'analyse des usagers en-dessous, tout ça est déjà possible. C'est déjà présent. "Gestion du patrimoine végétal". Mais le jour où le mec va sur sa maquette BIM que plutôt que d'aller dans le jardin. Enfin, moi si j'ai un jardinier comme ça je me pose des questions. C'est plus possible.

Doctorante: Mais la personne qui parlait de ça le mentionnait en tant que, enfin c'était un architecte dans une agence donc il faisait de la conception et en fait il modélisait les végétaux à taille adulte quand il replantait pour avoir une idée de l'impact que ça pouvait avoir en termes d'ombre sur le bâtiment.

R10: Ah oui oui d'office. OK.

Doctorante: Donc ça vous semble faisable maintenant.

R10: Ah oui oui il faut le faire. Je ne sais pas si les arbres sont bimés moi. Non ils ne sont pas bimés. Mais j'ai aucun projet de parc qui est bimé. Mais on demande dans toutes les études et même les études d'éclairage car ça a une interaction avec les poteaux d'éclairages tout ça, on demande que les arbres soient modélisés à des stades de croissances différentes. Mais je n'ai pas de parc bimé.

51:30 > 58:28 [Processus d'apprentissage]

Doctorante: La thématique suivante ce sont les processus d'apprentissage à la fois pour les étudiants et pour les professionnels de la construction, donc le fait d'utiliser le BIM pour développer les apprentissages. Le premier élément est que la visualisation des espaces avec le BIM pouvait permettre de mieux les comprendre. Je ne sais pas si vous avez déjà expérimenté ça en tant qu'apprenant, mais si ce n'est pas le cas vous pouvez vous projeter en vous demandant si ce serait possible de mieux visualiser l'espace ou d'utiliser le BIM pour avoir un meilleur apprentissage de la gestion des espaces ?

R10: Oui, c'est de la conception 3D quoi. (Réfléchit) ça ne fait pas de meilleurs architectes mais ça fait des meilleurs visualisateurs d'espaces c'est sûr.

Doctorante: Ensuite on a "l'amélioration de la compréhension de l'aménagement des espaces". Donc c'est lié au premier point. Donc vous le situez plutôt dans le présent ou dans quelque chose d'idéal ? Est-ce-que vous pensez que ça se fait maintenant ?

R10: Que les étudiants ils dessinent en 3D ? Oui ça d'office.

Doctorante: Oui mais je veux dire est-ce que ça leur apporte quelque chose en termes d'apprentissage ? Est-ce que ça leur apporte quelque chose sur la visualisation et l'aménagement des espaces ?

R10: Oui oui j'espère. Ils peuvent se rendre ... C'est comme le fait de faire une maquette.

Doctorante: Le point suivant c'est : « apprendre des principes de construction durable grâce à des simulations justement dans la maquette ».

R10: Je crois que les ... Il y a des trucs qui peuvent être traités... Ah apprendre... Oui ils pourraient , s'il y a une base de données un peu correcte, simuler les changements de matériaux. Par exemple sur des mêmes espaces ils peuvent simuler l'impact d'un changement de matériaux. Ils peuvent peut-être prendre conscience de la démontrabilité des éléments. Ou pas. Oui de l'intégration aussi dans le patrimoine existant ça peut être intéressant. (Réfléchit) Oui ça peut être chouette d'avoir... J'imagine qu'on doit pouvoir vite paramétrer des notions de perméabilité, de réflexion ou d'absorption acoustique par rapport à un trafic avoisinant pour le voisinage.

Doctorante: Le point suivant concerne plus les professionnels de la construction. Donc c'était : "apprendre par simulation et en immersion virtuelle". Par exemple pour le travail en hauteur, pouvoir manipuler avec un casque. Est-ce que c'est quelque chose que vous avez déjà vu ?

R10: Non.

Doctorante: Mais ça vous semble faisable ou pas ?

R10: (réfléchit longuement) Oui complètement. Si on a un truc... Par exemple, aller fixer la flèche d'une cathédrale ou d'un mât, il n'a peut-être pas 5h devant lui et il doit s'entraîner, avoir le bon matériel avec peut-être des conditions d'accès difficiles. Il est pendu à une grue et pour préparer son matos et faire ses interventions. Oui (réfléchit), ça pourrait être utile pour les trucs très spécifiques.

Doctorante: On avait aussi "simulation du processus chronologique de la construction". Donc dans l'idée qu'un étudiant ne se rend pas toujours compte à l'école de l'ordre dans lequel les choses peuvent se passer.

R10: Oui. Qu'on mette d'abord le système d'égouttage avant de mettre la dalle? Oui par exemple, ça serait bien qu'ils apprennent (rire) .

Doctorante: Est-ce que ça vous semble quelque chose de réalisable?

R10: (Réfléchit) ça se fait déjà non? Il y a plusieurs simulations enfin vidéos promotionnelles où on illustre la construction d'un bâtiment. On est déjà dedans quoi, il faut le détourner à des fins éducatives et on y est.

Doctorante: On avait dans la même veine : "apprendre les jeux d'acteurs dans la construction". Donc qui intervient dans quelle phase et qui interagit avec qui, quels sont les flux d'interactions des documents des choses comme ça.

R10: (réfléchit) Mais Sim's city fait pas déjà tout ça? (Rire) Mais c'est dans les jeux qu'ils font tout ça. Il n'y a pas encore un jeu de promotion immobilière ? Mais on va inventer ça (rire).

Doctorante: (rire) Peut-être. On avait aussi : « l'apprentissage des techniques de construction » de manière générale, donc pas uniquement la construction durable mais par exemple améliorer la compréhension des nœuds constructifs.

R10: Oui complètement ça se fait déjà ça. Un printscreen d'un détail 3D, c'est bien hein. Voir un détail 3D que le mec regarde sur chantier ça peut être très bien.

58:28 > 1:05:06 [Patrimoine culturel]

Doctorante: Le critère suivant c'est le patrimoine culturel. Donc là c'est très axé bâtiment à valeur patrimoniale particulière. Le premier point était : "pouvoir faire des modélisations de bâtiments à différentes



époques" et c'est lié au deuxième point dans l'idée d'avoir des bibliothèques numériques de bâtiments historiques. Est-ce que c'est quelque chose que vous avez déjà observé?

R10: (Réfléchit) on modélise de plus en plus tout court donc on va dévier aussi sur des bâtiments patrimoniaux. Donc... C'est lequel ? ... A Paris, le palais des glaces qui a été... ? Je ne sais plus.

Doctorante: Notre-Dame qui a brûlé, c'est peut-être à ça que ....

R10: Elle a été ...

Doctorante: Oui il y avait... Je ne sais pas si c'était du BIM. Mais c'était au moins un nuage de points et c'est grâce à ça qu'ils ont pu reconstruire la structure.

R10: Oui d'office ça se fait.

Doctorante: Et le concept d'avoir une bibliothèque numérique. Est-ce que vous avez déjà vu? Ou plutôt dans un caractère .... Dans l'idée de pouvoir communiquer sur l'aspect culturel?

R10: (réfléchit) Oui, il n'y a pas de visites de bâtiments virtuels, des musées et tout ça peut être utilisé pour ça.

Doctorante: Après on avait aussi, enfin tout ça était sur l'aspect culturel et communication, mais on avait aussi l'aspect « surveillance et maintenance » dans l'idée de maintenir ces bâtiments. Donc il y avait la surveillance des bâtiments. Est-ce que c'est quelque chose que vous avez déjà pu observer?

R10: Non.

Doctorante: Avec le BIM du coup.

R10: Non je n'ai pas vu.

Doctorante: Est-ce que ça vous semble avoir un intérêt?

R10: Quoi, ça veut dire mettre des capteurs partout dans le bâtiment?

Doctorante: Oui ça pourrait être ça. Avoir un support en fait pour pouvoir maintenir la sécurité dans le bâtiment sur le long terme.

R10: (ne dit rien) Mais si on fait la première étape... (Souffle). Je ne sais pas trop.

Doctorante: Donc le point suivant est plutôt la maintenance et entretien du bâtiment avec le BIM.

R10: (ne dit rien) Bah oui. Pourquoi pas étant donné que le bâtiment qu'on construit, c'est le patrimoine de demain. Oui pourquoi pas. Je ne vois pas appliquer ça à la cathédrale Sainte-Gudule.

Doctorante: Pourquoi?

R10: Si, on pourrait très bien constituer le système de chauffage mais l'ensemble... C'est une question de limites. Si moi je l'appliquais à la cathédrale Sainte-Gudule, je ferais juste chauffage et luminaire. Le reste ça reste des plans. Oui donc en fait on peut.

Doctorante: Vous vous cantonneriez à ces points-là pourquoi? Parce que ça prendrait trop de temps, d'argent, trop d'espaces de stockage?

R10: Parce que le reste il est là et il va subir normalement moins d'évolution. (Réfléchit) Donc ça c'est dans cette approche de maintenance et entretien. Par contre, le modéliser a pour moi beaucoup plus de sens pour en préserver les caractéristiques, à des fins historiques, de documentations ouvertes à tout le monde, pour pouvoir voyager dedans, à des fins éducatives. Pas à des fins de maintenance et d'entretien.

Doctorante: Dans la même veine, il y avait "la réduction des coûts de maintenance", je suppose que c'est...

R10: Oui c'est la même chose.

Doctorante: Et enfin, quelqu'un avait parlé de la détection des fissures et des pathologies du bâtiment.

R10: Oui je vous le disais, pourquoi pas faire une maquette au temps X et puis après faire une photogrammétrie au temps Y et puis avoir une détection des mouvements et fissures. Oui ça pourrait être pas mal mais je préférerais agir de... enfin comme ça, que d'avoir des capteurs partout. Pour le gros œuvre quoi.

Doctorante: Donc le faire à un instant T et le refaire régulièrement?

R10: Oui. Comme le fait un géomètre quoi. Oui c'est ça.

Doctorante: Et c'est quelque chose qui va se produire selon vous ou qui serait idéal, mais on ne va peut-être pas arriver jusque-là?

R10: J'espère qu'on n'arrivera pas jusque-là et qu'on sauvera les bâtiments avant qu'ils ne bougent. Mais en cas de... J'imagine qu'ils font un truc comme ça pour la tour de Pise... Enfin j'espère. Ils ont peut-être même des capteurs dynamiques. (Réfléchit) Nous, on a parlé dans tout le bâtiment de pleins de repères de géomètres et donc ça équivaut plus ou moins à la même chose et tous les 6 mois il vient mesurer. Donc si on fait ça plus facilement avec un scanner 3D qui vient superposer ces 2 scans, ça peut être une bonne application.

Doctorante: Donc ça pourrait être dans le futur?

R10: Oui.

1:05:06 > 1:10:12 [Communication avec les usagers]

Doctorante: Le dernier point c'est la communication et il était scindé entre « communication avec les usagers » et « communication avec les acteurs » parce que ce n'est pas tout à fait la même chose. Donc le premier c'est « communication avec les usagers » et le premier usage c'est « la visualisation partagée des solutions proposées ». Ça vous en avez un peu parlé tout à l'heure, de pouvoir communiquer avec les usagers grâce à la visualisation. Donc c'est quelque chose que vous avez dans le présent ou plutôt dans le futur? Ou idéal ?

R10: Non non c'est dans le présent mais on ne fait pas encore... On n'utilise pas le BIM tel quel... Enfin ça dépend on utilise parfois comme ça en brut mais pour les usagers... Disons pour les investisseurs, on va quand même le maquiller. On va prendre une vue et les maquilleurs utilisent le BIM pour pouvoir construire leurs trucs. Encore une fois c'est chaque fois des... On passe par le BIM pour faire des choses mais le BIM ne fait pas tout

Doctorante: On avait aussi "l'intégration de la participation citoyenne".

R10: Oui ça pourrait être chouette de... J'imagine bien avoir un grand écran tactile à grandeur de la table avec en séance quelqu'un qui dit "on pourrait avoir un toboggan là" dans un parc ou quoi et on le met directement. On souligne et ça fait apparaître les opportunités, les risques...

Doctorante: Donc pouvoir montrer les solutions proposées en direct c'est ça ?

R10: Oui. Parce que souvent en participation citoyenne on a affaire à un panel d'architectes ou qui se croient architectes ou auteurs de projet. A raison hein. On leur demande de participer, alors ils participent.

Doctorante: Ensuite on avait ... Quelqu'un avait mentionné la communication aux locataires à propos des entretiens à réaliser.

R10: Ça peut être pas mal pour faire le manuel de l'entretien qui serait dans la cuisine ou en-dessous de tout ce qu'on ne regarde pas mais ça pourrait être pas mal pour faire un visuel facile. Si on a un public qui n'est pas très littéraire... ça peut être intéressant.

Doctorante: Donc ce serait idéal ou futur.

R10: C'est même présent. De faire des manuels un peu didactiques et ancrés à un public non littéral. On y tend de plus en plus. Présent proche. Après demain.

Doctorante: Ensuite on avait le suivi de résolution des pannes. Donc cette personne-là était bailleur social. Il avait enquêté auprès des personnes qui habitaient dans les bâtiments qu'il gérait et donc c'était une demande qu'ils avaient de pouvoir suivre les pannes et pouvoir se rendre compte d'où en était le statut de la chose. Parce qu'ils signalent une panne, puis c'est le flou jusqu'à ce que quelqu'un vienne et parfois ça ne vient pas avant plusieurs semaines ou mois. Donc le fait de pouvoir avoir un suivi dans une maquette avec un viewer ça permettrait de se dire "cette chaudière-là on a reçu ou c'est en cours, mais il vient demain, dans une semaine..." ou quelque chose comme ça.

R10: Un genre de Fix-It du bâtiment?

Doctorante: Oui, lui il faisait le parallèle avec les colis donc pouvoir avoir un lien de tracking avec ses colis. Se dire: "tient, c'est parti de l'entrepôt, ça arrive à la poste" etc...

R10: Mais aussi pour dénoncer un dysfonctionnement. Tu prends la photo et tu l'envoies. Le mec après le rattache au lieu sur le gestionnaire puis c'est lui qui rattache à la maquette et après son entrepreneur sait où est ce que c'est. Ce serait bien.

Doctorante: Est-ce que ce serait idéal ou ça va se produire?

R10: Ça va probablement se produire mais pas dans des logements sociaux.

Doctorante: Parce que ça demande des moyens conséquents?

R10: Oui je crois.

Doctorante: Enfin on avait « le diagnostic des pannes à distance » sur base d'une communication virtuelle avec les usagers donc c'est ce dont vous me parliez à l'instant. Donc c'est communiquer dans les deux sens en fait.

1:10:12 > 1:17:38 [Communication entre les acteurs du projet]

Doctorante: Le dernier point qu'on a c'est la communication entre les acteurs du projet. Donc on avait premièrement le recensement des échanges liés au projet.

R10: Ah oui. Ça c'est le bazar hein. Si seulement. Donc oui aujourd'hui, même hier on pourrait mettre. Mais la collaboration améliorée... coordination surtout.

Doctorante: Donc pour le premier vous disiez "hier mais si seulement". Donc ça aurait dû se produire hier mais ça ne se produit pas comme ça. Enfin ça ne se produit pas de manière efficace.

R10: Non. Enfin quand on a une quinzaine d'acteurs autour de la table, il faut qu'ils soient tous au même niveau de maturité ou à un niveau de maturité minimum pour pouvoir appréhender ce genre de processus de dialogue et d'échange. Et en fait ça ne va pas quoi. Et même nous, on a mis 3 mois pour installer un plugin BIM alors... C'est n'importe quoi.

Doctorante: Donc ça ne fonctionne pas car les gens ne sont pas formés au même niveau?

R10: Oui et ne sont pas... c'est l'école à la base... Ils n'ont pas les mêmes intérêts non plus. Le paysagiste ne va pas modéliser 5 arbres, enfin je suppose que ça va lui prendre beaucoup de temps. Il n'a pas le même intérêt de payer une licence chère pour son échelle d'intervention. Alors je n'imagine même pas en chantier quoi.

Doctorante: Est-ce que du coup c'est quelque chose que vous situez dans l'idéal. "Ce serait bien que ça se produise mais voici les freins" ou est-ce que vous le rejetez à ce stade-là en se disant "ça ne fonctionnera jamais".

R10: (ne répond pas tout de suite)

Doctorante: Ou "ça fonctionnera mais seulement sous certaines conditions, pour certains types de projets avec certains types d'acteurs,..."

R10: Oui ça fonctionnera de manière hybride. On ne pourra pas dire "le projet est bimé, tous les acteurs sont autour de la table". Même après... Parce que moi j'entendais le BIM comme une base de données mais aussi comme base documentaire et donc comme réceptacle de tout ce qui est échange. Mais qui dit échange dit validation etc. mais en fait c'est l'enfer quoi. C'est l'enfer mais chaque jour je prie pour que ça arrive. Parce que je ne vois pas... Parce que je sais que c'est possible donc je vois que c'est possible mais c'est hyper frustrant parce qu'on ne l'applique pas. Et je suis un des premiers à ne pas l'appliquer, mais c'est une question d'éducation et d'habitude, de sensibilisation à la plus-value machin machin. Et les systèmes sont tellement aussi d'apparence fermée avec Autodesk qui a son truc machin qui a un autre truc. Enfin c'est très compliqué et ça coute une bèche à chaque fois

Doctorante: Et quand vous voulez dire que c'est fermé vous voulez parler du manque d'interopérabilité entre les logiciels ou de la difficulté à rentrer dans le logiciel et à comprendre son fonctionnement?

R10: Les deux. Apparemment les ponts entre les logiciels se font mais... La dernière présentation BIM que j'ai eue c'était par acteurs différents, sur le même projet, ils utilisaient 4 viewers différents. Et moi je disais "aucun des viewers que vous utilisez pour me présenter le projet, que je suis censé payer, enfin je ne l'ai pas". Et donc on me dit "Ah mais tu dois installer ça". Alors quand je demande pour installer ça j'ai toute la sécurité nationale qui est derrière moi pour savoir si c'est sécurisé ou si ce n'est pas géré par les Russes et il faut une bête de scène comme pc parce que sinon ça ne tourne pas. Donc (souffle) c'est pénible en fait. J'étais à tel point qu'un consultant voulait bien me prêter un pc avec la licence ad hoc et la puissance pour faire tourner le modèle. C'est dingue hein.

Doctorante: Est-ce que parmi tous les critères qu'on a évoqués, vous avez un usage auquel on pourrait penser qui pourrait être idéal ou qui est présent et qu'on pourrait rajouter à cette liste?

R10: Donc l'idéal de validation et de flou des documents, ça j'aimerais bien. Et qui puisse avoir trait aux aspects plus administratifs du processus de construction. Ça pourrait être intéressant. Tout ce qui est budgétaire, état d'avancement des études, tous ces trucs-là, ça pourrait être très intéressant d'avoir une réelle base centralisée de l'ensemble du projet et de son vécu. Vous avez évoqué le "has been" là-dedans plus ou moins.

Doctorante: Ce n'est pas dit comme ça mais...

R10: (réfléchit) "Les analyses des cycles de vies". Moi il y a quelque chose que j'aimerais bien mais ... il y a des simulations mais... (ne dit rien) Oui les analyses des impacts environnementaux type si on le combine avec un Totem par exemple. Je ne sais pas si vous connaissez.

Doctorante: Oui.

R10: Ça nous calcule le poids en termes de CO2 du bâtiment ou... Et alors là, si on le met en 4D, alors on peut avoir l'empreinte de la construction en fonction de la méthode de construction choisie par l'entrepreneur. Ça peut être intéressant.

1:17:38 > 1:19:16 [Outro]

Doctorante: Ok. Vous avez encore quelque chose à ajouter?

R10: Non.

Doctorante: Ok. Du coup moi j'ai terminé. Je ne sais pas combien de temps... On a pris un peu plus d'une heure je pense... 1h15. Si vous avez un contact qui pourrait selon vous être intéressant pour répondre à mes questions et qui accepterait de le faire potentiellement...

R10: BIM et ...Euh, je ne sais pas, je vais y réfléchir.

Doctorante: Ok. Si un nom vous vient...

R10: J'ai été renseigné?

Doctorante: Non.

R10: Vous m'avez trouvé comment alors?

Doctorante: J'ai contacté Mon entreprise de manière générale info et c'est eux qui m'ont renvoyé vers vous.

R10: Oui. Mais je vais y réfléchir.

=====

00:00 > 03:35 [Formation durabilité] [Formation numérique] [Profil]

Doctorante: C'est un entretien qui va traiter de thématiques de la durabilité dans les thématiques BIM. Il est organisé en trois parties. La première partie va servir à cerner rapidement votre profil. La deuxième partie va permettre de vérifier les définitions que vous avez par rapport aux concepts que j'utilise. Et la dernière partie va questionner vos habitudes et vos idées par rapport à la mise en place d'une forme de durabilité dans les pratiques BIM. Donc ma première question dans la partie profil c'est de savoir quelle est la formation que vous avez suivie et combien d'années d'expérience vous avez dans la milieu de la construction.

R11: Donc moi je suis architecte. J'ai suivi une formation classique d'architecte et je travaille depuis 1993.

Doctorante: D'accord. Est ce que vous avez une utilisation du numérique dans votre pratique professionnelle qui est régulière?

R11: Donc maintenant dans le bureau je ne dessine plus mais je suis toujours derrière l'ordinateur. Et quand on a créé le bureau en 2005, tout de suite on a... mais déjà avant on utilisait l'ordinateur pour dessiner, très tôt.

Doctorante: Le BIM, c'est quelque chose qui est arrivé de quelle manière dans votre pratique.

R11: En fait on utilisait Autocad architecture 3D quand il est arrivé et c'était pas terrible et quand le revendeur nous a proposé tout ça en 2006/2007, Revit venait d'arriver en Belgique et on l'a tout de suite pris donc on est quasi leur premier client. Chez nous tout est dessiné en 3D sur Revit depuis 2006/2007.

Doctorante: OK donc ça fait quand même assez longtemps que vous l'utilisez quoi.

R11: A mon avis plus longtemps que la moyenne des architectes en Belgique.

Doctorante: Et vous l'utilisez pour collaborer aussi en externe de votre bureau ou c'est uniquement en interne ?

R11: Alors on a fait des expériences mais c'est pas... Autodesk ayant modifié la tarification du service, on a mis fin à l'expérience car c'était pas possible. Il fallait rajouter 1000€ par poste qui collaborait. Même quand on utilisait pas le service, ça faisait beaucoup trop. Pour les échanges, effectivement on avait à un moment donné une plateforme où on partageait avec des bureaux d'études. C'était bien pratique car on avait le collaborateur qui voyait ce que dessinait le bureau d'étude en temps réel et ils avaient un chat où ils pouvaient interagir en disant "tiens il manque quelque chose à tel ou tel endroit est ce que tu peux pas le déplacer etc.". C'était vraiment sympa comme manière de faire. Mais bon quand Autodesk sera revenu à une tarification plus abordable où que les bureaux d'études... Alors on y repassera.

03:35 > 05:05 [Définition des concepts] [Concept architecture durable]

Doctorante: Ok, du coup on va passer à la deuxième partie qui concerne les définitions. Et donc je voulait vous demander en quelques mots-clés quelle était votre définition de l'architecture durable?

R11: C'est une architecture dans laquelle on a envie de rester longtemps. (Réfléchit) Donc c'est juste quelques mots sinon je peux revenir sur les 3 piliers, etc. Les conférences... Ici nous ce qu'on cherche c'est... Je fais une distinction entre le bio, le machin, le truc. L'architecture durable c'est vraiment une recherche d'équilibre entre l'économique, le choix des matériaux et leur impact environnemental. On essaie de tendre... En tout cas nos clients, c'est eux qui décident jusqu'où ils veulent aller en matière de durabilité et donc nous on est là pour les sensibiliser sur ce qui est possible de faire. Mais en même temps, on les challenge toujours un peu car souvent quand ils débarquent ils ont des rêves un peu fous et il faut un peu les challenger parce

qu'il y a beaucoup de solutions qui apparaissent comme magiques et qui au final sont des désastres. Là quand on construit un bâtiment il faut quand même une garantie de 10 ans dessus.

05:05 > 06:58 [Définition des concepts] [Quelles thématiques peut-on traiter via le BIM]

Doctorante: Et que voyez vous comme interaction entre le BIM et la durabilité. Est ce que vous utilisez le BIM pour mettre en œuvre des démarches durables ?

R11: Alors le BIM c'est avant tout l'outil de conception. Donc... si on veut, la maquette BIM est un avatar du projet qui existe numériquement avant d'être construit. Alors quand on fait de la conception, je vais dire qu'on utilise l'outil pour visualiser les nœuds constructifs, etc. On n'intègre pas le choix des équipements en rajoutant dedans... Allez je sais pas... La durée de vie de l'appareil, ses cycles d'entretiens. Ca c'est vraiment du BIM post-architecture. C'est plus pour les gens qui font la maintenance de leur immeuble. Nous on va utiliser Revit, à côté de ça il y a des outils... La durabilité, maintenant de plus en plus on nous demande de faire des évaluations TOTEM. J'imagine que vous savez ce que c'est ?

Doctorante: Oui, oui.

R11: Donc ça on fait mais quand on doit faire de la PEB, il y a un aller-retour entre la maquette et les logiciels de performances énergétiques et de calculs de carbone. Mais voilà c'est juste : on va chercher les données dans la maquette et on la remet dans l'autre logiciel. Mais ça ne va pas plus loin on a pas d'outil spécifique qui nous donne en temps réel les bons points de durabilité.

06:58 > 10:31 [Définition des concepts] [Concept durabilité sociale]

Doctorante: D'accord. Une autre question que je voulais vous poser est : "connaissez-vous le concept de la durabilité sociale et comment vous le définiriez ?"

R11: En fait, je ne connais pas le concept. Mais je trouve... Enfin je veux dire, si le développement durable est une recherche d'équilibre entre la planète, l'activité humaine et ... enfin l'économie, le social et la planète. Je trouve que de dire "ah une durabilité sociale serait ou ne serait pas une durabilité..." Je veux dire, en principe, le social est déjà pris en compte dans une démarche de développement durable. Donc si je fais du durable social, c'est que je ne fais pas le reste ou alors c'est que je suis gêné par un des trois piliers et par exemple, j'ai décidé que le pilier économique me piquait les yeux et donc je suis focalisé entre la planète et le social. Mais dans ce cas-là on risque d'oublier qu'à un moment donné il y a un principe de réalité. On ne peut pas concevoir un bâtiment sans se soucier de combien il va coûter.

Doctorante: Donc l'architecture durable est axée principalement sur le pilier économique et environnemental mais avec le pilier social qui est en toile de fond de toutes les décisions c'est ça?

R11: En fait, le social... l'architecture, elle est sociale par nature. On fait des bâtiments à vivre donc par nature c'est comme ça. On prend en compte, si c'est du logement, la manière dont on vit aujourd'hui. Donc c'est culturel, social quelques fois culturel. Tous ces aspects-là sont par nature pris en compte dans le projet. Parce que pour finir la durabilité s'exprime vraiment... (réfléchit) par les choix de matériaux, « est ce que mon bâtiment est bien isolé », etc. Ca ne me dit encore rien sur la qualité de l'espace tout ça. Le job de l'architecte est de mettre en scène l'espace. Ca c'est son premier métier. Nous sommes des metteurs en scène d'espaces. Alors on leur met des frontières, des murs, des toits, etc. pour remplir une série de fonctions qui sont là. Pour habiter... Il y a toujours une dimension sociale.

Doctorante: Pour continuer l'entretien... Oh, vous vouliez compléter?

R11: Oui, je voulais juste dire que l'architecture est par nature sociale et... enfin peut-être pas quand on fait une villa avec une énorme piscine et tout mais on va dire que c'est pas la même chose que quand on fait un

ensemble de logements pour des familles ou quand on fait un bâtiment culturel ou un hôpital. Là la dimension sociale elle est là et on va dire que le durable est venu s'ajouter à la démarche de l'architecte.

10:31 > 12:22 [ Pas de thématique]

Doctorante: Ok. Pour continuer l'entretien, je vais vous envoyer un mail qui contient un document sur lequel vous allez pouvoir réagir. Donc là je vous l'envoie à l'instant. Je passe par le mail parce que quand j'ai essayé de l'envoyer sur Teams à des personnes qui n'ont pas Teams, ça ne fonctionne jamais.

R11: Ca m'étonne pas (rire). Voilà ça va je l'ai.

Doctorante: En fait ma recherche s'axe principalement sur cet aspect social de la durabilité et voir ce qu'il est possible de faire quand on le met en interaction avec le BIM. Donc pour ça on a commencé par une première phase où on a classé des thématiques de durabilité sociale qui pouvaient être utilisées dans l'architecture. Et dans la deuxième colonne vous avez des possibilités d'usages BIM qui servent ces thématiques. Donc on a la thématique de la sécurité, du confort des usagers, des processus d'apprentissages, du patrimoine culturel et de la communication, que ce soit avec les usagers ou les acteurs du projet. Donc là ce qu'on va faire c'est prendre chacun des usages et réagir usages par usages en vous demandant de situer ça dans le passé, le présent ou le futur. Pour que je puisse savoir si ce sont des choses qui sont déjà ancrées dans la pratique des architectes. Ce que vous avez la possibilité de faire aussi c'est rejeter un usage. Donc si il y a quelque chose qui ne vous semble pas du tout réaliste, que ça ne situe ni dans le passé, ni dans le présent et ni dans le futur. Et aussi de le classer dans quelque chose d'idéal, qui ne se fait pas pour l'instant, qui ne se fera probablement pas mais qui serait chouette que ça se produise mais pour certaines raisons ça ne peut pas se produire. Est-ce que c'est clair pour vous?

R11: Oui.

12:22 > 32:30 [Sécurité]

Doctorante: Ok. Donc on va commencer par la sécurité. Le premier usage c'est "utiliser les données des précédents chantiers pour identifier les risques et accidents fréquents".

R11: Juste une question, ici on parle de la sécurité durant le chantier ou de la sécurité lorsque le bâtiment est livré?

Doctorante: Il y a certains critères qui sont axés plutôt sur la phase chantier, d'autres qui sont axés plutôt en conception... Donc ça dépendra des critères mais en fonction de comment ça vous parle vous pourrez réagir sur l'un ou sur l'autre.

R11: Donc ceux-là ça se fait. On a un coordinateur sécurité/santé obligatoire sur tous les chantiers. Les deux premiers aspects que je vois, il y a quelqu'un qui est chargé de ça dans le processus du bâtiment.

Doctorante: Et ça se fait avec le BIM?

R11: Alors non. Là le BIM... Qu'est ce qu'il pourrait faire là-dedans? Le coordinateur sécurité, il consulte les documents mais c'est tout ce qu'il fait. Par exemple, la sécurité truc c'est la hauteur d'un garde-corps. J'ai un endroit qui est dangereux si je mets pas le garde-corps, je mets le garde-corps ou les lignes de vie etc. Donc le coordinateur sécurité vérifie que c'est là. Pour finir on l'a documenté dans la maquette mais on ne peut pas dire que c'est grâce au BIM, on serait dans du dessin 2D classique ce serait la même chose. On le fait avec



le BIM mais il n'y a pas de plus-value. Par exemple, une plus-value BIM sur la sécurité ce serait : on a la maquette et on aurait les petits bonhommes qui pourraient vivre en accéléré dedans et on croise des données et on voit si le petit bonhomme il tombe ou pas. Ça une intelligence artificielle pourrait le faire. Simuler sur base de données statistiques, le risque d'un bâtiment. Pour dans le futur.

Doctorante: Le troisième point c'est "l'estimation des coûts et équipements de sécurité" de nouveau en utilisant le BIM.

R11: Non on utilise pas. L'estimation des coûts en général... Ce qu'on fait avec le BIM c'est qu'on extrait les quantités. Matériau par matériau. Élément à mettre en œuvre par élément à mettre en œuvre. Et ça, ça vient nourrir les quantitatifs et les estimatifs. Ça ça se fait. Ça s'est BIM. Avant il fallait tout mesurer à la latte mais grâce au BIM je peux tout de suite connaître mes quantités et alimenter mon quantitatif, c'est à dire mon estimation de coût.

Doctorante: Et après cette estimation de coût vous la faites plutôt avec un Excel ou quelque chose comme ça?

R11: Dans Revit, on a des tables de nomenclatures qui sont des tableurs. Puis à un moment donné on exporte le tableur généré. Il peut rester en lien avec ma maquette donc si je modifie ma maquette ça va actualiser mon tableur. Et ça permet de faire des simulations.

Doctorante: Ok. Le point d'après c'est "la localisation sur le chantier en temps réel des équipements et ouvriers".

R11: Ça c'est pas le métier de l'architecte. Donc on ne s'occupe absolument pas de cet aspect-là. Après ça devient un peu du flicage. Je ne pense pas que sur chantier les entrepreneurs... Certains doivent en rêver de coller une puce aux ouvriers et de les voir se déplacer dans le BIM mais on en est pas encore là.

Doctorante: Ok. Du coup dans la même idée... Pardon allez-y.

R11: C'est plutôt dystopique qu'utopique. Même si je vois le fait que si un ouvrier manque à l'appel on sait où aller le chercher mais c'est du flicage quoi.

Doctorante: Le point suivant est un peu en lien, c'est "utiliser des capteurs dans les casques des ouvriers" mais du coup c'est à nouveau pour pouvoir les localiser. Ensuite on a "la visualisation des espaces de sécurité requis pour la manipulation des équipements".

R11: En réalité augmentée par exemple?

Doctorante: Oui par exemple.

R11 : Ca c'est une bonne idée. Je ne sais pas si ça se fait. Nous ne l'avons jamais expérimenté. On a jamais vu sur chantier mettre en œuvre. Mais c'est techniquement assez simple à mettre en œuvre un système de réalité augmentée. Je pense que ça se fait dans l'industrie. J'en suis presque certain là que dans l'industrie ça se fait. Donc ce serait une bonne idée à faire.

Doctorante: On aussi "identification des conflits horaires entre équipes ou équipements lourds". Donc pouvoir, à partir de la maquette, anticiper qu'à tel moment tel phase du chantier il y aura tel type d'équipement qui est particulièrement dangereux et que tel type d'ouvrier n'est pas du tout habilité à manipuler ces équipements-là et donc éviter ce genre de conflits. Que deux équipes qui ne devraient pas se retrouver ensemble au même endroit. Qu'on puisse anticiper ce genre de problèmes.

R11: Oui je pense que... Enfin moi je n'ai pas d'expériences de tests de ce genre. Ce qu'on a déjà fait c'est passer... C'est s'en servir pour faire le planning de chantier. Mais pas jusqu'à la gestion des risques liés aux équipes. L'idée c'était d'optimiser la durée et savoir quand telle marchandise doit arriver sur chantier et quand la suivante... C'est pour optimiser le planning de construction mais pas sur l'aspect sécuritaire.

Doctorante: Et vous pensez que ça pourrait être intéressant ou que ça pourrait se faire autrement?

R11: Je pense que ça se fait naturellement. C'est-à-dire qu'il faut vraiment un très gros chantier pour que le... c'est des réflexes élémentaires quoi. En principe sur des chantiers à la taille de Bruxelles, à part peut-être quand il y a eu le chantier de l'OTAN, il y a eu X équipes qui étaient en même temps sur chantier donc le chef de chantier ne va pas les mettre au même endroit si c'est dangereux. Ça se fait naturellement, on ne va pas... Je pense que c'est suffisamment simple à gérer pour qu'on ne soit pas obligé d'avoir un outil spécifique qui pourrait... Ça semble être preuve de bon sens.

Doctorante: Le point suivant c'est "la gestion des interventions en cas d'incendie". Donc là c'est peut-être en phase d'exploitation du bâtiment. Vous me disiez que vous ne vous occupiez pas forcément de la maintenance du bâtiment. Mais est-ce que ça vous semble être quelque chose qui vous semble intéressant. De pouvoir gérer le BIM pour gérer ce genre d'interventions ?

R11: Oui ça oui. C'est quand même pas mal. Imaginons les pompiers s'ils peuvent visiter l'immeuble sans aller se brûler, juste avant de dire par où il faut passer et se dire "ah mais oui le feu est là, c'est quoi l'autre chemin, qu'est-ce qui est moins dangereux pour nos hommes ou qu'est-ce qui sera plus efficace ?". C'est quand même vachement intéressant pour eux.

Doctorante: Vous pensez que c'est quelque chose qui se fait déjà ou va se faire ? Ou ce serait plutôt dans l'ordre de l'idéal ?

R11: (Réfléchit). Je pense que ça va se faire. Je ne sais pas quand mais un jour les pompiers auront ... Je pense qu'ils le font quand on a un site dangereux, par exemple un site industriel où on joue avec des produits dangereux ou inflammables, là ça me semble clair que les pompiers ont accès à une documentation de l'immeuble. Oui parce qu'ils pourraient faire pire que bien en intervenant s'ils ne sont pas informés. Donc je pense que ça se fait déjà dans ce type de bâtiments-là. Mais la généralisation dans tous les cas n'est pas pour demain. Les pompiers aujourd'hui n'ont pas de documentation des immeubles. Tout ce qu'ils ont c'est des plans de routes pour éviter les bouchons. Mais quand ils arrivent sur un immeuble où ils ne sont jamais allés ils ne le connaissent pas, ils ont pas gardé la documentations. Parce que lors d'un permis d'urbanisme quand les pompiers donnent leur aval sur l'immeuble, ils reçoivent les plans mais ils ne les gardent pas donc ils n'archivent pas les plans. Ils gardent juste une copie de l'avis qu'ils ont remis mais ne gardent pas les documents.

Doctorante: D'accord.

R11: Donc voilà ma réponse, c'est que ça ne se passe pas dans certains cas mais ça va sans doute aller ... Les cas vont devenir de plus en plus nombreux.

Doctorante: Ensuite dans le même genre d'idée on a "l'entraînement et la formation des usagers, donc ça c'est spécifique aux usagers, aux règles de sécurité" donc peut être à nouveau plutôt en phase d'exploitation. Est-ce que c'est quelque chose qu'il vous semble intéressant de faire avec le BIM ?

R11: Oui. C'est-à-dire que si on a une formation, si on doit aller courir sur le toit pour voir la ligne de vie, c'est quand même plus confort de donner toutes les bases au chaud dans une salle avec les maquettes. Et se dire "voilà si vous vous trouvez là, qu'est-ce qu'il faut faire, voilà où vous trouvez les machins". Comme ça quand les gens montent sur le toit, ils connaissent déjà car ils l'ont déjà vu.

Doctorante: C'est quelque chose que vous avez pu voir quelque part ou vous situez ça plutôt dans le futur ?

R11: Non mais... De nouveau c'est la même réponse qu'à la question d'avant. Je pense que dans des sites où on manipule des choses dangereuses et qu'il y a du personnel d'intervention etc. ou des sites très complexes etc. les gens sont formés, vous avez des responsables de la sécurité sur le site ou des responsables de l'entretien. Et ces gens sont formés et ils connaissent les lieux donc je suis certain que quand vous avez une

maquette BIM et que la boîte l'utilise en maintenance c'est une des premières choses qu'elle fait c'est ça : former les gens chargés de l'entretien ou de la sécurité de l'immeuble à l'aide de cette maquette.

Doctorante: Donc c'est déjà du présent dans certains cas spécifiques ...

R11: C'est une des premières applications du BIM en maintenance.

Doctorante: Donc les points qu'on a vu jusqu'à présent donc ça c'est des points qui sont issus de la littérature, de pleins d'analyses et d'expérimentations qui ont été faites, ont mené à cette liste de points. Et en fait les points suivants qui sont avec les étoiles sont les points cités par d'autres personnes, exactement dans le même cadre de cette enquête-ci, qui ont voulu compléter cette liste. Donc le premier point qui revenait est "modéliser les aménagements liés à la sécurité en phase conception". Donc par exemple, l'échelle de secours, la ligne de vie ce genre de choses.

R11: Oui bah en fait c'est... Pour moi c'est la mise en application de ce qui est cité plus haut. Concrètement c'est quoi « intégrer la sécurité dans le BIM », bah c'est faire ça. C'est modéliser des éléments. De toute façon le BIM c'est que ça : modéliser des éléments et les documenter. Pouvoir les prétester de manière digitale

Doctorante: Et vous vous le faites déjà ?

R11: Nous on ne s'occupe pas personnellement de l'aspect sécuritaire mais si on a un élément par exemple les escaliers de secours, oui ils sont modélisés. Mais les lignes de vie non ça on ne les modélise pas. Parce qu'en phase conception on a, en général, pas choisi le type d'équipement de toiture : les lignes de vie, le système de ligne de vie, on va le déterminer en fonction de son coût et des risques que le coordinateur de sécurité va évaluer.

Doctorante: Donc ça arrive plus tard dans le processus?

R11: Oui.

Doctorante: OK. On avait ensuite "la modélisation des équipements de chantiers", par l'entrepreneur donc pas par l'architecte "y compris les équipements qui sont provisoires ou mobiles" comme par exemple des échafaudages, des garde-corps, des zones de stockages, ... Donc des choses qui sont vraiment spécifiques à la phase chantier mais du coup par l'entrepreneur.

R11: C'est une bonne idée. Je pense que certaines grandes entreprises doivent le faire un petit peu. Il nous manque nos plans de temps en temps. Quand il faut faire un plan de chantier, donc un plan de chantier c'est tout ce qui est container, stockage et tout ce qui est mis là on le met sur un plan de chantier. Alors bon, on peut le faire à la main. Faire une copie du plan d'implantation et griffonner à la main, mais s'ils sont équipés, les chantiers ont une certaine importance, ils peuvent plutôt compléter le modèle 3D avec leurs informations.

Doctorante: Ensuite on a " la vérification des réglementations et normes d'accès PMR" donc à nouveau avec le BIM. Donc utiliser la maquette numérique pour pouvoir vérifier ces réglementations.

R11: Hum... Bon il faudrait que le BIM intègre une vérification intelligente. Sinon c'est juste consulter les documents donc il faudrait que le logiciel connaisse les normes et mette des alertes quand elle ne sont pas respectées. C'est excessivement compliqué vu le millefeuille réglementaire et de normes donc...

Doctorante: Donc ce serait plutôt quelque chose d'idéal?

R11: Oui ça c'est plutôt idéal. Un monde idéal où on aura commencé à mettre de l'ordre dans les réglementations et les normes.

Doctorante: D'accord... J'écris en même temps. Parce que d'habitude les gens me voient. D'habitude la caméra fonctionne donc si vous avez parfois des blancs ne vous inquiétez pas c'est parce que je prend des notes en même temps. Ensuite on a "la visualisation des zones nécessaires à la maintenance du bâtiment".

Donc là c'est vraiment anticiper en conception la maintenance de tous les équipements qui nécessitent une maintenance en créant peut être des blocs autour de ces équipements pour s'assurer qu'une personne puisse passer. Parce que la personne mentionnait que ... enfin elle mentionnait un exemple de chantier où on avait rajouté des gaines techniques autour d'un élément qui nécessitait une maintenance et donc finalement c'était très compliqué pour le technicien d'aller jusque là. Parce que le chemin n'avait pas.... En fait à cause de la volumétrie qui était un peu particulière, on avait pas remarqué que le chemin n'était plus accessible.

R11: Mais donc lorsque... Si on ne.... Si on met un ingénieur en technique spéciale si je prends votre exemple qui a bien encodé en BIM et en 3D ses équipements techniques, l'installateur va avoir tendance à respecter les plans, ne pas improviser. Si vous voulez, quand on trace une gaine sur un plan à l'ancienne, on fait un trait d'axe et c'est l'installateur qui se débrouille pour passer plus ou moins à cet endroit-là. Par contre, si je modélise mon objet en 3D, je teste dans ma maquette le fait que ma gaine peut réellement passer par là. Elle a son encombrement etc. Elle est géométriquement figée, on sait qu'au niveau des croisements tout ça tient la route. Donc l'installateur n'a pas de raison d'improviser un truc qui ne va peut-être pas marcher. Il va respecter ce plan dès le début et si on a un bon ingénieur quand il prévoit une machine où il y a de la maintenance il dit "attention il faudra pouvoir extraire les filtres ou un truc comme ça, il y a besoin d'une zone devant libre pour pouvoir opérer la maintenance". Donc ça c'est pas de l'utopique, ça doit se faire sinon on a un problème. Si je ne sais pas sortir mes filtres de mes gaines parce que j'ai une gaine qui passe devant, c'est une erreur de conception. Donc il faut démonter et recommencer.

Doctorante: Ok. Le point suivant c'est "utiliser la maquette en tant qu'interface de visualisation des alertes de sécurité qui sont liées à la maintenance des équipements". Donc l'idée qui était apportée là c'était d'avoir quelque chose qui s'allume, un point qui s'allume pour se dire "voilà cette chaudière-là elle nécessite un entretien dans 3 mois" ou quelque chose comme ça. Donc c'est vraiment en phase de maintenance donc il faut que la maquette soit toujours alimentée.

R11: J'ai un jour assisté à une formation sur un logiciel de maintenance qui était mis au point par "Tractobel". C'est un grand bureau d'étude, c'était lié à.... au groupe "Suez" français. Donc ça se fait. Il y a des outils pour faire ça et ça se fait mais de nouveau, l'outil a un prix, il y a un personnel qui doit l'utiliser. Il faut une certaine échelle de projet. Donc si le BIM, en évoluant, pouvait se démocratiser il pourrait être... Toutes ces choses qui se font dans les grands projets complexes où on a les moyens et bien pourraient se faire dans les projets à plus petite échelle. C'est ça qui serait intéressant. Je pense que si on exploite une centrale nucléaire, tout ça on le fait depuis longtemps. Et on est plus avec des grands tableaux et des petits leds qui s'allument partout. Non, ils le font avec des maquettes virtuelles.

Doctorante: Ok. Le dernier point donc dans la sécurité c'est "utiliser le modèle, par les pompiers, en cas d'incendie". Donc ça on l'avait déjà un peu mentionné dans la gestion des interventions. Je ne sais pas si vous voulez rajouter quelque chose sur ce point-là ou on passe au suivant ?

R11: Non, c'est ce qu'il faudrait faire. Quand le BIM arrivera chez les pompiers c'est ça qu'ils devront pouvoir faire.

Doctorante: Et vous pensez qu'il y a un frein en particulier au fait que ça arrive chez les pompiers?

R11: Le frein c'est qu'ils sont pas équipés. Et puis, les pompiers aujourd'hui, c'est pas du tout dans leur formation. Ils ne savent pas ouvrir un logiciel numérique donc il faut déjà commencer par engager les gens pour et les former et les sensibiliser. Le frein est plus culturel que... qu'autre chose.

32:30 > 49:14 [Confort des usagers]

Doctorante: Du coup on va passer au point suivant qui concerne le confort des usagers. Donc le premier point c'est "la collecte des données liées à l'occupation du bâtiment". Donc, à nouveau, vous m'avez dit que vous

ne vous occupiez pas de la phase maintenance mais est-ce que c'est quelque chose que vous avez déjà vu ou qui vous semble réaliste?

R11: Tout dépend des données qu'on peut capter... Est ce que c'est les dérouleurs de papier toilette où on met une alerte ? Je ne sais pas très bien ce qu'on entend ... ou est ce que c'est simplement les entrées et sorties des immeubles ?

Doctorante: En fait justement ça peut être assez large donc ça peut être justement ce flux de circulation ou ça peut être aussi la consommation énergétique. Quelqu'un m'avait parlé aussi des ampoules. C'était juste une idée que la personne évoquait : de pouvoir détecter quelle partie du bâtiment est occupée parce que justement les ampoules sont allumées, des choses comme ça.

R11: Il y a par exemple... Enfin il y a des détecteurs de fuites dans les immeubles donc s'il y a une fuite d'eau quelque part dans l'immeuble on sait où. Et cette information est collectée et il y a un tableau de contrôle. Alors est-ce que le contrôle c'est juste un grand patch panel avec une lettre qui se met en route pour le circuit machin, comme ça on sait que c'est les sanitaires au 4e étage qui ont un problème, une chasse d'eau mal refermée et donc il y a de l'eau qui coule. Ou c'est directement une alerte dans une maquette numérique ? Un jour ça arrivera, un jour tous les panneaux numériques seront remplacés par des maquettes virtuelles parce que c'est beaucoup plus commode. On peut le faire à distance. Je peux aller courir sur l'immeuble. La plupart du temps, les gestionnaires de maintenance n'ont pas qu'un seul immeuble ou alors ils ont un grand site. Donc s'ils peuvent faire tout ces checks de leur bureau sans courir à gauche à droite ce serait pas mal. Donc on collecte déjà pas mal de données. Pour les consommations d'énergies certainement.

Doctorante: On avait également "la simulation de l'éclairage naturel" et un intervenant a rajouté "simulation de l'éclairage artificiel".

R11: Ca ça se fait déjà. Pour les études lumière, il y a des professionnels qui font ça. Qui simulent les couleurs de lumière. Pour le moment nous on travaille sur la rénovation de la station "parc" et il y a un artiste qui a fait des photos en noir et blanc qui vont être mises sur les murs. Donc on devait s'assurer d'avoir un éclairage artificiel pour le coup mais qui doit donner une chaleur et une température de lumière qui soit proche de l'éclairage naturel pour que quand on regarde les photos on les perçoive comme si elles étaient à l'éclairage naturel. Donc pour faire ça, ces gens utilisaient notre maquette dans leur logiciel de simulation d'éclairage. Donc ça il y a des bureaux d'études qui font ça. Nous on le fait pas nous-même parce qu'on est pas compétent, c'est un métier. Mais on utilise des maquettes 3D pour le faire.

Doctorante: Le point suivant c'est "l'identification des causes d'inconfort liées à l'agencement des espaces".

R11: (Réfléchi) Je réfléchis à me dire "à quoi dans le fond servirait le BIM". Parce que dans le fond quand on dessine un espace, on le dessine en 2D sur sa table à dessin dans l'ordinateur mais s'il est mal fichu, il est mal fichu. Et c'est notre métier de faire en sorte qu'il soit pas mal fichu. Donc est-ce que l'outil BIM améliore ça, je pense que... Pas vraiment sûr qu'il y ait une plus-value BIM sauf si on a une intelligence artificielle qui utilise la maquette pour simuler les scénarios. Ca Autodesk avait fait une simulation avec ça, je pense qu'il fallait aménager le hall d'entrée d'un immeuble, il fallait une porte de telle largeur, la sécurité, l'éclairage, ... Enfin ils avaient donné toute une série de contraintes techniques et l'ordinateur a sorti tous les scénarios possibles d'aménagement. Donc en représentation chez Autodesk, ils le font. Mais là on est un step plus loin. Pour le moment, c'est l'arrivée de l'intelligence artificielle qui va progressivement faire des choses à notre place avec le BIM. Donc l'outil BIM va intégrer les outils de conception qui vont servir d'assistant aux bureaux d'études et architectes. Et ils étudieront notamment ces aspects-là.

Doctorante: Ensuite on a "le monitoring de la production d'électricité, de chauffage" et un intervenant a rajouté de la ventilation aussi. Donc avec le BIM à nouveau.

R11: Les monitorings se font car on en a besoin. C'est un peu la même réponse, si j'ai un immeuble qui a un certain âge... Les monitorings de la production d'électricité et de chauffage. Maintenant on a des compteurs dit "intelligents", chez monsieur et madame tout le monde, où là-dessus pour 60€ on peut acheter un petit module Wi-Fi et j'ouvre mon ordinateur et je peux monitorer mes consommations. Et je peux, là-dedans, aller encoder mes équipements, mes gros consommateurs d'énergies, ma machine à laver, mon machin, mon truc. Et le truc (le compteur) sait reconnaître en fonction de ma manière de consommer si c'est la machine qui est en route, etc. Mais est-ce que c'est du BIM?

Doctorante: Le BIM n'est pas forcément une plus-value dans ce cas ?

R11: C'est à dire que ... (réfléchit) Le BIM va assembler, à un moment donné ça va sans dire... le BIM c'est un ensemble d'informations autour d'un modèle 3D, d'un bâtiment virtuel et cet ensemble d'informations peut aller uniquement... ça commence par la géométrie puis ça peut aller effectivement assez loin dans la maintenance etc. Mais à coté de ça j'ai des outils de monitorings des équipements (sonnerie de téléphone) j'ai d'autres outils de monitorings de mes consommations qui, à un moment donné, les deux peuvent converger si je voulais. Le monitoring peut décider qu'il va s'intégrer à la maquette BIM mais est-ce que c'est pour cela que c'est du BIM? Je pense que c'est avant tout du monitoring.

Doctorante: Dans le point suivant on a "l'estimation des coûts liés à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers".

R11: Donc des coûts de rénovation ou des coûts d'utilisation ?

Doctorante: Donc c'est des coûts de rénovation qui peuvent permettre du coup de limiter les coûts d'utilisation, mais ici c'est surtout dans le cadre du confort des usagers donc principalement l'isolation ou tout ce qui est lié à la consommation d'énergie. Ou à la réduction des courants d'air, des choses comme ça. Donc ce point-là venait d'une étude qui avait été faite sur un ensemble ouvrier où les personnes... C'était un bailleur social qui gérait l'ensemble et donc les usagers n'avaient pas la main sur les rénovations et donc ça avait été compliqué pour eux de se projeter dans ce qui allait, ce que ça allait ressembler à la fin. Et notamment comme c'était une façade protégée et ils avaient dû isoler par l'intérieur, mais donc ils avaient perdu de la place à l'intérieur dans des logements qui étaient déjà pas très grands. Donc voilà c'était l'idée d'utiliser le BIM dans le contexte de communiquer avec les usagers et aussi de communiquer les coûts potentiels que ça peut engendrer.

R11: Quand on veut se lancer dans une rénovation énergétique, il faut quand même un minimum de simulation et de payback. De retour sur investissement donc ... Un bâtiment on peut dire que ça a une durée de vie de 25/30 ans, aujourd'hui si on arrive à faire en sorte... après il est démodé... les équipements eux-mêmes... un ascenseur machin ça a un cycle de vie plus court en fait donc on se dit "dans le fond est-ce que d'un point de vue économique, mais on peut faire le même calcul avec l'énergie grise, est ce que ça vaut la peine ou pas ?". C'est intéressant de faire ces exercices de payback mais jusqu'ici ils ont tendance à ne pas prendre en compte l'usage réel. Je vais donner un exemple : quand on encode un bâtiment dans le logiciel PEB en Belgique, celui-ci donne des résultats de consommation sur base de quoi en définitive ? On ne sait pas comment les gens vont vivre dedans. Si j'ai un bâtiment passif et que j'ai décidé que je vivais avec 24° dans mon logement toute l'année et en t-shirt, je vais consommer plus que si je ne fais pas les travaux. Ça ça n'est pas pris en compte dans les simulations aujourd'hui. Ce qui pourrait être intéressant c'est de collecter les données réelles. Donc si on a des logements sociaux, comment chacun des habitants se comporte par rapport aux énergies aujourd'hui et donc à ce moment-là on peut simuler et on se dit "tiens si j'isole ma consommation va descendre de autant " mais on peut le faire de manière plus fine parce que on connaît le comportement réel des gens. Là il y a au niveau des données quelque chose à faire. Mais ça ne va pas être pour tout de suite. Parce que si c'est des logements sociaux c'est pas... c'est cher de mettre ça en place.

Doctorante: Donc ce serait plutôt quelque chose d'idéal ou de futur? Plutôt concret ou plutôt utopique?

R11: Ca arrivera un jour pour les grands ensembles. C'est on va dire idéal. Je pense que c'est pas pour demain.

Doctorante: Ensuite on avait "l'amélioration de la compréhension du contrôle par les usagers de leur consommation". Donc que les usagers puissent grâce à la maquette BIM mieux comprendre leur consommation. Donc là je pense que vous venez un petit peu d'en parler aussi. C'était ciblé sur les logements sociaux mais... qu'ils puissent mieux comprendre leur consommation électrique, de chauffage de luminosité mais à partir ici de leur téléphone. Là c'était un des usages mentionnés par une autre personne interviewée qui voulait voir cette consommation sur son téléphone mais à partir des données de la maquette numérique.

R11: Mais en fait vu la taille de l'écran du téléphone, on a mieux fait d'avoir un encodage simplifié. Un peu comme un plan d'incendie où on a mis des petits rectangles. Mais ce n'est pas la maquette ça, on fait un encodage... ça existe les choses comme ça : on fait le plan de sa petite maison, le rez de chaussée, les machins, la petite puce pour voir la consommation dans telle et telle pièce, la température. On peut faire des choses comme ça qui fonctionnent mais ça n'a rien à voir avec le BIM. Il y a trop de données. Le but du BIM est d'arriver à rassembler une quantité importante de données or là on a besoin de voir un truc simplifié. Pour monsieur et madame tout le monde c'est beaucoup simple de faire un petit encodage qui n'a rien avoir avec le BIM pour jouer à ça. Maintenant, jouer avec la maquette BIM pour faire ça c'est oui dans un grand bâtiment au nom des contraintes de maintenance mais pas pour monsieur et madame tout le monde. Une maquette BIM on ne va rien voir dans le téléphone. Ou alors avec des lunettes et ça se projette en grand.

Doctorante: Le point suivant concerne les analyses acoustiques. Donc le fait de réaliser des analyses acoustiques avec le BIM.

R11: Ca c'est une bonne idée et là on est typiquement dans des choses que le BIM doit un jour pouvoir faire. C'est à ça qu'il sert en fait. Notamment mais bon... c'est de pouvoir faire des simulations de comportement. A mon avis il existe des outils de simulation acoustique qui s'intègrent certainement déjà. Parce que si on va faire un tour chez Autodesk il doit y avoir des outils d'analyse acoustique. Mais alors est-ce qu'ils sont bien développés ou pas, ou est-ce qu'ils sont un peu basiques, ça j'en sais rien.

Doctorante: Ok. Ensuite on a l'analyse des flux de circulation des usagers.

R11: Oui ça aussi je pense que ça se fait. Je pense que des analyses de flux de circulation ça se fait. Soit avec des piétons mais ça se fait avec des véhicules. En fait, on peut se dire dans la construction qu'il y a plein de bureaux d'études, il y a l'architecte au milieu qui est généraliste et puis il y a tous les spécialistes : ingénieurs en stabilité, en techniques spéciales etc. Tous ces métiers-là on un intérêt à se retrouver, à un moment donné, à se retrouver dans une maquette unique BIM. Donc que ce soit l'acousticien, les gens qui font des études de flux, des études de circulation d'air, de paysagistes etc. eux ont tous intérêt à se retrouver dans la même maquette. Donc là le BIM est vraiment utile. C'est son rôle de centraliser tous les métiers de la construction.

Doctorante: Ok, du coup le dernier point, car on a déjà parlé de la circulation de l'air, c'est « la gestion du patrimoine végétal avec la maquette BIM ».

R11: Oui. S'il est modélisé c'est une bonne idée. Mais si j'étais Bruxelles Environnement, je trouve que ce serait pas idiot d'aller modéliser mes parcs. De pouvoir... là il y a tel arbre, il a tel taille, il est en bonne santé, il a tel stress hydrique, etc. Je pense pas qu'ils en sont encore là mais c'est une très bonne idée.

Doctorante: Donc c'est quelque chose que vous placez dans un futur?

R11: Dans un futur... Je pense dans un futur relativement proche.

Doctorante: Est ce que vous avez quelque chose à rajouter sur cette thématique du confort des usagers?

R11: Non comme ça non. (Réfléchit) Enfin on peut donner 1000 exemples. Il y a 1000 exemples. On peut rallonger cette liste.

49:14 > 1:03:00 [Processus d'apprentissage]

Doctorante: Ok. Du coup on va passer aux processus d'apprentissage, donc c'est sur la deuxième feuille. Ça concerne à la fois les apprentissages pour les étudiants qui sont en cours d'étude mais aussi pour les professionnels de la construction qui se mettent à jour. Donc le premier point qui semble être le plus important c'est la "visualisation des espaces". Donc c'est le fait de tirer parti de cette maquette numérique pour mieux visualiser les espaces. Là ça concerne principalement les étudiants, quand ils apprennent à avoir cette vision en 3D. Est-ce que c'est quelque chose que vous avez expérimenté, probablement pas parce que vous me dites que vous avez commencé à travailler en 93 donc à cette époque le BIM n'était pas encore très répandu mais est-ce que c'est quelque chose qui vous semble faisable ?

R11: Oui mais c'est sûr qu'en 93 la 3D informatique c'était un peu le moyen-âge, même le jurassique, mais la faculté que les étudiants en architecture développent c'est qu'en regardant un plan, donc quelque chose qui n'est pas en 3D, c'est de sentir la 3e dimension. C'est une forme d'apprentissage à la lecture du plan. A partir du moment où on mache la besogne, je suis dans un espace virtuel en 3D, je vais perdre cette capacité puisque je ne l'entraînerai plus. Mais par contre je vais en gagner une autre. Je vais dire par expérience, quand on me met un plan sur la table et qu'il y a des escaliers dessinés, je sens tout de suite si l'escalier il lui manque des marches. Ou s'il prend trop de place ou s'il a un problème. On le voit en plan. Mais ça c'est l'expérience car on a bien dû apprendre à faire notre métier avant le BIM. Maintenant qu'il y a le BIM les étudiants vont développer d'autres facultés et c'est sûr que de pouvoir visualiser en 3D, je vais reprendre mon exemple des escaliers, ça limite la casse. On se plante beaucoup moins souvent.

Doctorante: Donc c'est quelque chose qu'on... j'allais dire rejet mais pas spécialement en fait. C'est juste qu'on perd une capacité à se projeter sur du 2D mais ça permet quand même de mieux visualiser l'espace ? C'est juste qu'on est assisté pour le faire ?

R11: Oui oui oui, c'est un autre outil. Moi je suis pas un adepte du porte-mine. J'ai toujours tenu dans le bureau à essayer d'être un peu en avance et donc... On va perdre cette faculté-là et on va en gagner d'autres et c'est excessivement commode et beaucoup plus concret de pouvoir montrer les espaces dans une maquette en 3D que d'essayer d'expliquer sur un bout de papier. Nous on a par exemple en permanence quand on a des clients particuliers qui vont peut-être construire 1 fois dans leur vie, qui n'ont jamais vu un plan d'architecture. Comment on fait pour leur expliquer à quoi va ressembler leur immeuble? Ils veulent le savoir évidemment puisque c'est beaucoup d'argent, beaucoup d'énergie dépensée pour eux. C'est un projet de vie etc. Ils veulent savoir à quoi va ressembler leur immeuble avant qu'il existe pour savoir si ce qu'on leur propose leur convient. Et ça c'est sûr qu'avec une visualisation 3D on leur sauve la vie. Avant ils étaient un peu condamnés à nous faire confiance, sans savoir à quoi ça allait ressembler pour du vrai. Là on les aide quand même beaucoup et c'est le processus que prennent les étudiants.

Doctorante: Le point suivant c'est un peu dans le même ordre d'idée c'est "améliorer la compréhension des espaces" mais bon si on visualise mieux les espaces on comprend aussi mieux leurs aménagements. Ensuite on a "les apprentissages des principes des constructions durables par simulation". Donc pouvoir utiliser la maquette numérique pour mieux comprendre les enjeux liés à tels choix d'un point de vue durable. Donc plutôt sur le volet environnemental.

R11: Quand on choisit les matériaux c'est pour un tas de raisons; ça peut être esthétique, le prix,... Et aujourd'hui c'est sûr que quand on choisit un matériau on s'intéresse au fait qu'il soit durable ou pas. Si je prends un matériau d'isolation, sa durabilité va être inversement proportionnelle à son épaisseur. Donc plus c'est une merde chimique, plus il va être fin pour faire le job et plus on tend vers quelque chose de plus neutre et plus il va être épais. Donc là quand on le modélise, on parle de plusieurs m<sup>2</sup> qui sont perdus dans un immeuble en fonction de mon choix d'isolant, de l'épaisseur de mes façades. Ça se fait ça. Mais en fait c'est des simulations techniques de construction. On pourrait enlever le mot durable en fait dedans.



Doctorante: Mais d'ailleurs quelqu'un a rajouté, bon je passe à la fin de cette case, mais les principes de construction de manière générale et l'amélioration des nœuds constructifs. Donc c'est quelque chose que vous situez aussi dans le présent?

R11: Oui oui.

Doctorante: Quelqu'un avait également mentionné et vous l'avez un petit peu fait aussi tout à l'heure c'est "l'apprentissage par simulation en réalité virtuelle pour notamment le travail en hauteur". Je ne sais plus si vous l'aviez placé dans le présent ou plutôt de manière idéale ?

R11: Je sais que les outils existent. Il suffit d'avoir envie de le faire et de pas avoir le mal de mer. Parce que les simulations immersives... On est pas tous égaux devant ces machins-là. Moi par exemple je suis malade avec ces trucs. C'est un effet de mal de mer, un peu dans le même genre donc j'évite d'utiliser mais je suis allé plusieurs fois à des formations et il suffit de prendre des lunettes et il y a les logiciels qui sont derrière. Evidemment on sait se balader dans un bâtiment, tout ça c'est tout à fait faisable donc c'est pas pour le futur c'est déjà là. Il suffit d'acheter une paire de lunettes.

Doctorante: Le point suivant c'est "la simulation du processus chronologique de la construction". Donc là c'est un intervenant qui évoquait le fait que dans les études on ne se rend pas toujours compte de l'ordre dans lequel les choses se passent dans la réalité. Donc il suggérait de pouvoir utiliser la maquette BIM pour pouvoir visualiser dans quel ordre on pourra monter le bâtiment en fait.

R11: Ca c'est très intéressant parce qu'on a souvent eu par exemple quand on ... par exemple parfois les collaborateurs nous font des détails techniques qui sont très bien mais on ne sait pas les construire car il faut 12 mains et 40 doigts pour le faire, parce qu'ils n'ont pas appris la chronologie. C'est-à-dire que quand je dessine mes couches, il y en a qu'il faut mettre en premier et d'autres en dernier donc l'ordre a de l'importance. On va déjà faire le gros-œuvre puis l'emballer et donc ça c'est intéressant à faire.

Doctorante: Et vous pensez que ça se fait déjà?

R11: Je ne sais pas si on le pratique déjà mais dans une maquette BIM on doit pouvoir ... si on peut le lier ... Si je peux extraire des données de quantité, je peux extraire des données de temps donc je pourrais effectivement avoir une sorte de ligne du temps où je clique et je vois ma maquette se construire. Ce que nous on a dans Revit, et j'imagine que tous ceux qui l'ont le font, c'est qu'on travaille des phases avec des phases. La première chose qu'on encode si j'ai une rénovation c'est l'immeuble tel qu'il est puis on a la phase démolition où on fait apparaître des objets à qui on dit "vous vous êtes la démolition" puis on peut faire apparaître le gros œuvre puis les techniques spéciales. Puis ça on l'avait déjà fait dans un projet, celui où on travaillait en direct avec un bureau d'études. Là on avait vraiment mis les différentes grandes phases du chantier jusqu'aux finitions pour faire apparaître ou disparaître les objets, pour ne pas polluer le dessin. C'est-à-dire que quand je suis au stade du gros œuvre j'ai besoin de voir les techniques mais par contre comme elles ont quand même été dessinées dans la maquette si je mets des gaines et machins, elles elles sont prévues. C'est pas encore tout à fait la ligne du temps mais c'est déjà les grandes phases. "On doit d'abord faire ça puis ça puis ça..."

Doctorante: D'accord donc c'est quelque chose qui vous semble faisable ?

R11: Ca nous on l'a fait. Les grandes phases on le fait de temps en temps. Dans l'idéal ce serait d'avoir ce curseur ... que chaque objet on puisse... Parce que soit on met la donnée "on doit faire ça avant ça" dans le processus de construction, classer les éléments dans l'ordre, soit on va un pas plus loin et on dit "Ok, on fait ça puis ça, ça va durer autant de temps". A ce moment-là on génère un planning... je sais que ça s'est fait chez Taes ils avaient expliqué ça. L'idée c'était de faire des scénarios d'exécution du bâtiment pour l'optimiser. "Est-ce que je fais d'abord ça ou ça sur mon chantier. Et puis ceci et puis cela". En changeant l'ordre dans lequel on fait les choses on parvient à réduire le planning général du chantier, à construire plus

vite. Et comme les frais de chantiers pèsent très lourd dans le budget, si je peux avoir un chantier plus court alors je construis moins cher. Les mêmes matériaux, les mêmes quantités et la livraison de mon chantier me coûte moins cher. Je peux faire mieux.

Doctorante: Le point suivant c'était "apprendre les jeux d'acteurs dans la construction". Donc dans le même ordre d'idée c'est se dire, les étudiants quand ils sont vraiment dans la phase étude ne se rendent pas forcément compte de qui fait quoi et intervient quand. Et donc le but c'était d'utiliser la maquette numérique, mais là vraiment dans un contexte de cours dans une école d'architecture, pour créer des jeux d'acteurs autour de cette maquette.

R11: Mouais... Ca va tourner au jeu vidéo cette affaire... Oui ... Je ne sais pas si c'est super .... Si les étudiants sont à ce point à l'ouest et qu'ils ont carrément besoin de simuler, de faire du jeu de rôle.

Doctorante: Ok, ça vous semble moins intéressant?

R11: Oui, pas très

Doctorante: Donc on avait déjà traité des derniers points qui parlaient des nœuds constructifs. Est-ce que vous avez quelque chose à rajouter sur cette partie des apprentissages?

R11: (Réfléchit longuement) Un des avantages je trouve du BIM ... Les étudiants souvent ils dessinent les choses comme si tout était en sucre, ils n'ont pas conscience quand ils font un beau plan, une belle image, ils n'ont pas conscience que derrière il y a du béton et des machins et que chaque matériau a ses contraintes physiques. Et avec le BIM, comme on fait une construction virtuelle, ils peuvent appréhender le caractère physique des matériaux. Quand on construit en pierre il y a .... La pierre naturelle a ses contraintes physiques et celles-là peuvent être prises en compte dans une maquette BIM. Si c'est pas une maquette BIM, l'étudiant a juste choisi une couleur, un matériau c'est une couleur, une ambiance mais c'est tout. Alors que c'est plus que ça, ça a du poids. Donc je dirais qu'il n'y a pas que les espaces, il y a plus ...

Doctorante: La matérialité.

R11: Voilà.

1:03:01 > 1:11:41 [Patrimoine culturel]

Doctorante: Ok. Dans la thématique suivante c'est lié au patrimoine culturel. Donc dans cette thématique-là on avait... du coup c'est plus en phase de maintenance vu que c'est du patrimoine qui a déjà été construit il y a un long moment. Donc c'est "modéliser les bâtiments à différentes époques" et notamment en lien avec le point suivant pour pouvoir "créer des bibliothèques numériques de bâtiments historiques". Donc là c'est vraiment dans l'idée de partage culturel. Est-ce que c'est.... Oui ?

R11: Ca se fait. Quand on a des cathédrales et des machins, on modélise aussi. On reconstitue les bâtiments qui n'existent plus aussi.

Doctorante: Et l'idée d'une bibliothèque numérique c'est quelque chose qui vous semble... qui pourrait être intéressante dans le cadre de bâtiments historiques selon vous?

R11: Oui. Notamment pour les étudier. On ne sait pas toujours se déplacer et pour finir une maquette numérique ça en dit plus qu'une photo.

Doctorante: Et c'est quelque chose que vous avez déjà vu? Que vous pensez qui pourra se produire?

R11: Il y a des musées ou des choses comme ça qui l'utilisent déjà. Je ne sais pas si on visite un site, moi j'aime bien ça, si on visite un site gallo-romain on peut avoir des simulations à différentes époques ou des

choses comme ça. Ou la vie d'un château royal, au début il y a eu un petit fort puis il y a eu ceci et puis il y a eu cela. Je pense que là il y a déjà pleins d'applications.

Doctorante: Ok, le point suivant est un peu plus concret, plus ancré dans les considérations techniques. C'est "le surveillance des bâtiments" et également en lien avec le point suivant "la maintenance et l'entretien de ces bâtiments" à travers cette maquette BIM.

R11: Ce qu'il y a c'est que la maquette c'est un cloud virtuel. Si une fissure apparaît sur mon bâtiment, la maquette ne va pas le savoir. Il faut lui dire puisqu'elle vit dans son monde digital à elle la maquette. Ou alors on prend la tour de Pise et on modélise la vitesse à laquelle elle s'incline pour savoir quand il est temps d'intervenir pour du vrai avant qu'elle ne tombe mais.... Je ne sais pas si c'est vraiment la surveillance. Le fait est qu'on utilise la maquette virtuelle pour documenter l'état du bâtiment. Alors est-ce qu'elles sont... Oui un bâtiment qui aurait des problèmes structurels et on pourrait simuler à quelle vitesse, si on ne fait rien, il va s'abîmer. On pourrait imaginer ça, si on a un site archéologique. Peut-être... (ne dit rien) Mais à ce moment-là peut être que le plus intelligent ce serait de partir de capteurs... Oui... Je réfléchis tout haut hein (rire). Vous me posez des questions que je ne me suis jamais posées. Donc je me dis qu'on pourrait avoir des capteurs positionnés même pour les taux d'hygrométrie des choses comme ça. On pourrait avoir les capteurs posés sur le bâtiment réel et qui envoient les informations sur le bâtiment réel. Ça on peut le faire.

Doctorante: C'est quelque chose qui vous pensez va se produire ? Ou est plutôt de l'ordre de l'idéal ?

R11: Non non...

Doctorante: C'est plutôt du futur ?

R11: Si .... Il arrive que sur un bâtiment on puisse mettre des capteurs de mouvements, des capteurs de vibrations ou dans des musées des capteurs d'hygrométrie des choses comme ça. Mais c'est sûr que si l'information pouvait être ramenée dans une maquette ça simplifierait la vie de tout le monde. C'est vachement plus visuel que d'arriver dans un tableau, dans une espèce de longue liste de capteurs et se dire "ah mais c'est ce capteur à cet endroit-là qui me dit ça". Si ça ne se fait pas déjà alors ça va arriver.

Doctorante: Et concernant la maintenance et l'entretien des bâtiments ?

R11: C'est un peu la même chose...

Doctorante: C'est un peu dans le même ordre oui. Ok. On avait aussi dans la thématique de la maintenance : "pouvoir anticiper les coûts de maintenance" et donc les étudier et les réduire.

R11: C'est le but. Si on peut... L'avantage de la maquette virtuelle c'est que si on a pris un mauvais chemin... Bah on peut recommencer. On peut rejouer donc c'est sûr que c'est intéressant de faire des scénarii de maintenance.

Doctorante: Donc c'est quelque chose qui est déjà possible?

R11: Oui. On fait déjà des scénarios de maintenance et là maintenant on a un outil pour rendre ça plus visuel.

Doctorante: D'accord... Et alors le dernier point, justement vous m'avez un peu parlé des fissures, c'est quelqu'un qui avait mentionné ... C'est quelqu'un qui avait travaillé en collaboration avec la SNCF et qui essayait de détecter les fissures et pathologies du bâtiments dans certains de leurs bâtiments qui étaient parfois ... qui pouvaient avoir des toits difficiles d'accès et qui voulaient utiliser des drones et une intelligence artificielle. Mais c'était totalement au stade d'étude. En tout cas eux dans ce cas-là. Pour pouvoir détecter ce genre de choses pour éviter d'envoyer une personne sur place. Est-ce que c'est quelque chose que vous avez potentiellement déjà vu?

R11: Peut-être pas une application... Au bureau on a un scanner 3D qu'on ballade et donc quand on a un bâtiment historique ou un bâtiment à chipoter, on va le scanner et l'idée c'est de compléter ce scanner avec

un drone. Notre idée est de pouvoir aller faire du relevé de bâtiment avec ça et chercher l'information sur site et pouvoir la travailler dans la maquette BIM en restant au bureau. Au lieu de devoir retourner 15 fois sur site, on emporte toutes les infos. Que ce soit une fissure, un truc cassé ou une géométrie... C'est un complément du BIM... Je pense qu'aller chercher des infos sur site par scannage et par drone c'est un complément du BIM qui est en train de se répandre. C'est excessivement pratique.

Doctorante: Donc c'est un présent en cours de développement c'est ça?

R11: Le scanner 3D et les drones ça existe et on ramène tout ça dans ... Nous on récupère les nuages de points dans Revit et on dessine dessus. Donc ça vient alimenter notre maquette BIM. Bon après je n'ai pas dans mon métier le besoin de suivre l'évolution d'une fissure sur un bâtiment qui subit les vibrations du train.

Doctorante: Est-ce que vous avez un élément à rajouter sur cette thématique du patrimoine culturel ?

R11: C'est celui que je viens de dire en fait c'est... C'est que le BIM... Enfin le BIM est en mutation, il y a des outils qui viennent se greffer dessus et notamment ces drones et le scan qui permettent d'avoir un ... Ca crée du lien entre l'objet virtuel et le vrai objet. Par exemple on pourrait même se servir de ce scanner pour faire le dossier as built. J'ai construit mon bâtiment et il est sensé ressembler à celui-là mais il y a toujours des petites évolutions et... On aurait mal implanté ceci ou cela et hop je vais scanner et je récupère la géométrie exacte de mon immeuble. Je mets à jour ma maquette.

1:11:41 > 1:21:30 [Communication avec les usagers]

Doctorante: Le point suivant c'est la communication et on l'a scindée entre la communication avec les usagers et la communication entre les acteurs du projet. Donc dans la catégorie communication avec les usagers on a déjà évoqué un peu tout à l'heure le fait de partager des solutions proposées de manière plus visuelle. Vous en aviez parlé dans les processus d'apprentissage. Mais sinon il y a ici « l'intégration de la participation citoyenne » via justement cette maquette numérique.

R11: (Réfléchit) On pourrait imaginer des séances d'informations virtuelles où quand on a une enquête publique, au lieu de se retrouver avec des fichiers PDF rébarbatifs... Si le citoyen avait accès à une maquette, il comprendrait peut-être un peu mieux le projet donc oui pourquoi pas. Après la maquette BIM c'est un outil de travail mais c'est aussi un outil de communication. Toutes les communications. Vers le citoyen aussi. Donc c'est sûr qu'on pourrait imaginer que les enquêtes publiques au lieu d'envoyer les citoyens fantasmer sur le plan qui a été remis, ils auraient accès à une maquette et pourquoi pas que le bâtiment soit intégré dans la maquette de son environnement.

Doctorante: Un intervenant avait rajouté aussi "communiquer au locataire à propos des entretiens à réaliser". Tout à l'heure on a parlé des entretiens mais c'était plus pour le gestionnaire du bâtiment. Mais pouvoir aussi communiquer au locataire sur ces sujets-là à travers cette maquette.

R11: (Hésite) Bon le locataire qu'est-ce qu'il va faire ? Il va régulièrement ouvrir la maquette et se balader et il va se dire "ah tiens je dois faire ceci, je dois faire cela" ? De nouveau je pense que ça n'a du sens que sur les grands sites. Si j'ai ma maison je peux trouver ça fun d'avoir ma maison en 3D mais est-ce que c'est dans ma maquette que je vais aller trouver l'information qu'il est temps que je rajoute du sel dans l'adoucisseur? Je ne suis pas sûr que ça fasse avancer le...

Doctorante: Ok. On avait aussi, ce qui avait été proposé c'est "le suivi des réparations des pannes" donc là c'était un bailleur social qui disait que c'était une demande de la part de ses locataires d'avoir un ... Enfin lui comparait ça à un suivi de colis qu'on aurait commandé sur internet, on sait où il est, s'il est sorti de l'usine, s'il est dans les mains d'un transporteur, ... Et donc pouvoir avoir un suivi de résolution des pannes pour savoir si la réparation est en cours ou terminée pour que le locataire sache que sa demande avance. Parce que parfois pour eux il y a un vide, un flou entre le moment où il signale qu'il y a une panne et le moment où

la panne est résolue. Donc ils peuvent parfois avoir l'impression que ça n'avance pas ou qu'on a pas pris en compte leur demande en fait.

R11: Mais qu'est-ce que le BIM a avoir là dedans en fait? C'est sûr que c'est sympa pour les gens d'être tenu un minimum au courant de leur dossier de panne mais qu'est ce que le BIM vient faire là-dedans en fait ? Je vais recevoir quoi des notifications "voilà on a reçu votre dossier, il sera traité dans autant, voici le nom de l'agent". Qu'est-ce que le BIM vient faire là-dedans quoi.

Doctorante: Donc un peu dans la même idée que précédemment avec les entretiens. C'est que de toute façon le locataire n'ira pas dans cette maquette donc ce n'est pas forcément le format le plus adapté pour ...

R11: Si son téléviseur est en panne est-ce que vraiment il a envie d'aller ouvrir la maquette pour voir quel est le statut de son téléviseur ? Est-ce qu'il ne préfère pas recevoir une notification sur son téléphone qui lui explique que le truc avance ? C'est plus une ligne du temps qu'il va vouloir voir. Peut-être que derrière ça, la personne qui gère l'outil de résolution de pannes et de suivi dans le temps le fait au départ d'une maquette numérique mais l'utilisateur final c'est pas cette information-là qu'il cherche. Lui il veut juste réparer son brol dans un temps relativement court.

Doctorante: Le dernier point dans cette catégorie-là c'est "diagnostiquer les pannes à distances à partir des usagers ». Donc la personne qui proposait ce critère-là parlait de prendre en photo le problème et de pouvoir l'intégrer dans la maquette. Mais du coup je suppose que ... Enfin c'est toujours dans la même idée.

R11: Il existe un site web de la région bruxelloise où on peut faire ça sur les incidents de voiries. Donc c'est pas une maquette BIM, c'est une carte de toutes les voiries de la région. Donc s'il y a une poubelle cassée, un banc, un truc abandonné, une chaussée effondrée, tous les citoyens peuvent signaler le problème. Une fuite d'eau, on fait une photo et tac on remplit un petit message et c'est localisé à l'endroit où le problème se trouve. Puis l'information est relayée vers le bon service. Donc ça ça existe sur les voiries. Alors sur des bâtiments on se dit... Sur sa maison c'est un peu curieux de jouer à ça mais ça peut par exemple être un réseau de métro. On pourrait avoir des maquettes virtuelles du métro, ça ce serait imaginable. Donc je vais mettre un petit truc auquel j'avais un jour pensé qui pourrait... Dans une station de métro, on essaie de faire... Il y a des gens valides, des gens pas valides, des gens qui voient clair et des malvoyants. Et pour les malvoyants par exemple, il y a des dalles striées, de petits plots, des petits panneaux au mur en braille etc. Plutôt que d'avoir tous ces équipements qui ne sont pas faciles pour les malvoyants, il faut trouver et suivre les murs. Plutôt que d'avoir ça on pourrait très bien être guidé dans la station à l'aide d'une maquette BIM. Je ne sais pas si vous voyez à quoi ça pourrait ressembler. Mais que la personne se déplace, elle est malvoyante et elle a une oreillette qui la guide dans la station sur base de la maquette virtuelle.

Doctorante: Donc avec un système de détection elle serait située dans la maquette?

R11: Oui. Et on sait où elle est dans la station avec détection sur la 3D ou Bluetooth ou je ne sais pas quoi. Avec GPS ce serait un peu compliqué. Peut être que dans le système d'oreillette il y a un système qui la localise dans la maquette et donc on peut comme ça la guider et être ses yeux. La voix pourrait être ses yeux. On peut compléter ça, il peut y avoir une caméra pour les flux de voyageurs qui viennent en plus. On peut renseigner s'il y a un portique qui est en panne et la diriger vers celui d'à côté. Là aujourd'hui un malvoyant, il longe les murs avec les dalles au sol et les petits panneaux en braille. S'il arrive devant un truc qui est en panne bah il est lâché dans la nature.

Doctorante: Et vous imaginez ça couplé avec une intelligence artificielle ou pas forcément ?

R11: Pas forcément. Je pense que là on est vraiment,... Avec une caméra, les maquettes et tout ça, je pense qu'il y a plein de possibilités d'être les yeux et les jambes des malvoyants et des personnes à mobilité réduite. On pourrait aussi pour les personnes à mobilité réduite les rediriger vers le parcours qui leur convient. Donc

là où sont les ascenseurs etc. Donc c'est aussi imaginable. C'est une manière de communiquer avec les usagers.

1:21:30 > 1:26:54 [Communication entre les acteurs du projet]

Doctorante: Ensuite dans la communication avec les acteurs du projet on avait "le recensement des échanges liés au projet dans la maquette BIM" je ne sais pas si vous passez par là vous?

R11: Et bien quand, bon on a pas fait de recensement, mais quand on a travaillé avec ce bureau d'études on avait notre petit chat à côté et on aurait pu s'amuser à compter ou enregistrer ou garder tous les échanges qu'on a eu. Ce qui était je trouve très intéressant c'est que alors que ... je pense que l'architecte chez nous n'a jamais vu le dessinateur du bureau d'étude. Ils se rassemblaient mais ils échangeaient de manière très tac au tac "tiens est ce que tu peux bouger ceci ou est ce que tu peux bouger cela". Comme on l'aurait fait, comme ils l'auraient fait s'ils étaient à 4 mains et c'était extrêmement efficace. Plutôt que d'envoyer un mail avec des pièces jointes qui explique ceci et qui demande avec des nuages et des trucs qui vont pas. Là tout d'un coup c'était vachement plus efficace.

Doctorante: Donc c'est quelque chose que vous situez dans le présent? Enfin le recensement vous n'en avez pas fait mais vous auriez pu?

R11: A partir du moment où on est plusieurs métiers en même temps sur la même maquette mais chacun sur ses objets à lui ça semble bien de prolonger cette expérience par un système de communication... plus adapté.

Doctorante: Le point suivant il est en lien aussi, c'est la collaboration améliorée donc c'est aussi ce dont vous parlez maintenant. Ok, est ce que vous avez quelque chose à rajouter sur cette thématique?

R11: Puisqu'il faut répondre, est-ce que ça se fait ou est ce que ça se fait pas. Les outils existent là mais ils sont très peu répandus et c'en est dommage. Donc quels sont les freins à l'usage ?

Doctorante: Donc concernant la collaboration?

R11: Oui. Quand on est dans l'univers Revit c'est simple, tout le monde, tous les bureaux d'études et autres, on a tous le même format de fichiers. Et donc les différentes maquettes parlent exactement la même langue. Si on est pas dans le même logiciel il faut passer par un format intermédiaire qui est le format IFC qui est quand même un peu complexe parce que je dois extraire mes données en format IFC, je dois les donner au bureau d'études qui va les récupérer, les mettre dans son système et faire le chemin dans l'autre sens. C'est un bête jeu il y a toujours des pertes entre les deux et il faut être super rigoureux pour avoir bien identifié les éléments qu'on va s'échanger pour pas les perdre en cours de route et qu'ils reviennent rangés au bon endroit et pas ailleurs. Ca c'est vachement laborieux mais par contre dans l'univers Revit, tout est là et est excessivement simple. On peut travailler à plusieurs dans la même maquette. En tout cas à l'écran on voit la même maquette complète des différents métiers. Le jour où les développeurs de logiciels auront un standard commun, on pourra faire ça dans les logiciels différents. Et la raison pour laquelle ça ne se reprend pas il y a en partie le problème du prix, le fait qu'on est condamné à ne travailler qu'avec des bureaux d'études qui sont en Revit et c'est pas toujours le cas car c'est les clients qui choisissent les bureaux d'études, c'est pas nous. Enfin pas toujours, des fois ça arrive mais c'est pas toujours le cas. On ne nous demande pas toujours notre avis. Donc il y a le prix de l'outil lui-même qui est malheureusement déjà un frein et puis il y a aussi parfois des problèmes plus culturels dans les différents métiers. Si je prends l'exemple de l'ingénieur en stabilité. L'ingénieur en stabilité souvent il travaille sur des logiciels spécifiques pour le béton le truc et tout qui sont quelques fois des vieux clous, qui calculent très bien hein, mais qui sont quelques fois des vieux clous

qui est presque en dos. Et eux on a du mal à les pousser dans une dynamique de BIM. C'est pas le cas de tous mais quand on fait des petits et moyens projets ce qui est le cas de mon bureau, on ne s'adresse pas à Greich.

Doctorante: Donc c'est une question de culture métier où il y a des logiciels qui sont déjà en place dans certains domaines et eux ne voient peut-être pas la plus-value à changer.

R11: Oui.

Doctorante: Ok.

1:26:54 > 1:28:47 [Outro]

Doctorante: Mais du coup là j'ai fait le tour de mon questionnaire. Je ne sais pas si vous avez quelque chose à rajouter de manière générale ? Mais vous avez déjà bien complété. En tout cas si vous pensez à quelque chose que vous avez envie d'évoquer vous pouvez toujours me contacter par mail. Je vous remercie en tout cas pour votre temps et je suis sincèrement désolée qu'on ait pas eu de caméra. Je ne sais pas ce qu'il lui prend, d'habitude ça fonctionne mais là c'est ... Mais je sais que c'est plus agréable avec le visage en face.

R11: Mais on ne se connaît pas du tout donc c'est difficile d'imaginer... Ca fait un peu bizarre de parler face à un écran noir...

Doctorante: Mais en tout cas merci pour toutes vos réponses et merci pour votre temps. Et voilà. Moi à priori je suis sur la fin du processus de ma recherche donc quand ça aboutira je vous informerai de la publication comme ça vous pourrez avoir un feed back sur tout ça.

R11: Merci et bonne chance pour la suite.

Doctorante: Merci beaucoup, je vous souhaite une bonne journée.

R11: Bonne journée, au revoir.

Doctorante: Au revoir.

## Annexe 3 : Listes de codes classés par occurrence

### 3.1 Codes liés à la définition de l'architecture durable

Empreinte carbone des matériaux (6)	Confort (2)	High-tech (1)
Consommation d'énergie (5)	Résilience (2)	Production d'énergie (1)
Circularité des matériaux (5)	Low tech (2)	Energie (1)
Relation au contexte (4)	Durabilité dans le temps (2)	Responsabilité envers les générations futures (1)

Analyse de cycle de vie (3)	Confort (2)	Sécurité (1)
Modularité/flexibilité (3)		Accessibilité géographique (1)
Frugalité (3)		Acceptation sociale (1)
Performance énergétique matériaux (3)		Rénovation (1)
Satisfaction des besoins (3)		Accessibilité financière (1)



### 3.2 Codes liés à la définition de la durabilité sociale

Frugalité (3)	Luminosité (1)	Accessibilité physique (1)
Ethique (3)	Paix (1)	Accès à l'énergie (1)
Création de vie (2)	Energie (1)	Accès à l'innovation (1)
Accessibilité financière (2)	Equilibre (1)	Accompagnement vers l'emploi (1)
	Diminution des charges locatives (1)	Relation à la végétation (1)
	Flexibilité (1)	Accompagnement financier (1)
	Bien – être (1)	Accès à l'emploi (1)
	Confort (1)	Sécurité/Accessibilité financière (1)
	Création de liens (1)	Abstraction (1)
	Empreinte carbone des matériaux (1)	Consommation d'énergie (1)

### 3.3 Codes liés au croisement des thématiques BIM et durabilité

Analyser comportement énergétique (5)	Difficulté (1)	Créer des lieux de vie (1)
Circularité des matériaux (5)	Anticiper l'écart as design et as built (1)	Simulation (1)
BIM urbain – CIM (4)	Durabilité économique (1)	Analyser flux de circulation (1)
Diminuer les déchets de chantier/ perte de matériaux (3)	Résilience (1)	Intelligence artificielle (1)
Analyser impact solaire (3)	Augmenter le confort (1)	Maintenance de la maquette (1)
Optimiser la conception de l'espace (2)	Augmenter la qualité de l'air (1)	
Analyser impacts acoustiques (2)	Anticiper la modularité (1)	
Outil de communication (2)	Durabilité dans le temps (1)	

### 3.4 Codes liés à la thématique de la sécurité

Présent (31)	Compétence des entrepreneurs (4)	N'y pense pas (1)
Futur (21)	Responsabilité (4)	Pas modélisé (1)
Visualisation (16)	Géolocalisation (4)	Plus concret (1)
Idéal (15)	Alertes BIM (4)	Augmentation des informations (1)
Gestion des informations (11)	Equipements provisoires (4)	Phase d'exploitation (1)
Vérification des règles (10)	Localisation (4)	Intelligence artificielle (1)
Réticences (9)	Echelle des projets (4)	Accès à la technologie (1)
Préoccupation des entrepreneurs (9)	Surveillance ouvriers (3)	Alimentation de la maquette (1)
Faisable (9)	Passé (3)	Portativité de la maquette (1)
Notion de temps/planification (9)	Utilisabilité (3)	Efficacité de l'encodage (1)
Formation des acteurs (8)	Réalité augmentée (3)	
Maturité numérique du secteur (8)	Usagers (3)	
Maintenance du bâtiment (7)	Acceptation sur chantier (3)	
Augmentation de la charge de travail (6)	Optimisation (3)	
Communication (6)	Sécurité des données (2)	
Investissement financier/rentabilité (6)	Personnalisation (2)	
Réalité virtuelle (5)	Gestion des conflits techniques (2)	
Formation virtuelle (5)	Efficacité (2)	
Rejet (5)	Ne voit pas (2)	

Utilité (5)	Maintenance de la maquette (2)	
	En test (2)	
	Détection (2)	

### 3.5 Codes liés à la thématique du confort des usagers

Présent (34)	Optimisation (2)	Déplacement des responsabilités (1)
Utilité (21)	Réflexivité sur la consommation (2)	Intuitivité (1)
Futur (14)	Echelle urbaine (2)	Définition durabilité sociale (1)
Outil de compréhension (12)	Utilisabilité pour les usagers (2)	Vulgarisation/simplification du modèle (1)
Idéal (12)	Digital twin (2)	Qualité de l'air intérieur (1)
Visualisation (10)	Transdisciplinarité (2)	Nuisances sonores (1)
En développement (9)	Cahier des charges confort (2)	Cas par cas (1)
Outil d'aide à la conception (8)	Structuration des informations (2)	Contraintes techniques (1)
Ne sait pas (7)	Responsabilité bureaux d'études (2)	Durabilité sociale générique (1)
Phase d'exploitation (7)	Relation BIM/Usagers (2)	Responsabilité maître d'œuvre (1)
Autonomie des usagers (6)	Service à l'utilisateur (2)	Hierarchisation des priorités (1)
Diffusion/augmentation de l'accessibilité (6)	Volonté des usagers (2)	Outil commercial (1)
Sens (6)	Crainte/malaise (2)	Service ponctuel (1)
Echelle des projets (6)	Subjectivité (2)	Suivi des résolutions de pannes (1)
Investissement financier/rentabilité (6)	Exigence des usagers (2)	Résolution des pannes à distance (1)
Faisable (6)	Anticipation (2)	Artificialisation de la conception (1)
Difficile (6)	Précision (2)	Assistanat (1)
Smart technologies (5)	Flux de circulation (2)	Multicritères (1)
Interaction usagers/bâtiment (5)	Quantité d'informations (2)	Situation temporaire/passagère (1)

Portativité (5)	Machine learning (2)	Habitudes (modification des) (1)
Confiance en la donnée (5)	Moyen / Comment (2)	Moyens financiers et humains (1)
Rejet (4)	Manque de connaissances (2)	Réalité virtuelle (1)
Simulations (4)	Logiciel (2)	Rapidité (1)
Maturité numérique du secteur (4)	Encodage (2)	Eclairage artificiel (1)
Outil de communication (4)	Centralisation des informations (2)	Vraies datas (1)
Pouvoir d'action/contrôle par les usagers (4)		Destination des données (pour qui/quoi) (1)
Récolte d'informations (4)		Temporalité (1)
Vérification des règles (3)		Rénovation (1)
Sécurité (3)		Sensibilité (1)
Réticences (3)		Hasard machine (1)
Capteurs/appareils de captation (3)		Détection des erreurs (1)
"On croit savoir" (3)		Plug-in (1)
Analyse du bâtiment (3)		Motivation positive (1)
Alertes BIM (3)		Label (1)
		Référentiels (1)
		Moins calculable (1)
		Mise à jour (1)
		Intelligence artificielle (1)
		Modélisation (1)

		Paramètres (1)
		Collaboration (1)
		Définition du BIM (1)
		Matérialité (1)
		Continuité du BIM (1)
		Maintenance du bâtiment (1)
		Augmentation de la charge de travail (1)
		Low base (1)

### 3.6 Codes liés à la thématique des processus d'apprentissage pour les étudiants et professionnels de la construction

Futur (9)	Formation virtuelle (3)	Diminution des risques (1)
Présent (9)	Moyens financiers et humains (3)	Maturité numérique du secteur (1)
Idéal (8)	Accès à la technologie (3)	Responsabilité concepteur (1)
Outil de compréhension (7)	Formation des acteurs (3)	Optimisation (1)
En développement (6)	Anticipation (2)	Compréhension des nœuds constructifs (1)
Chronologie sur chantier (5)	Responsabilité des entrepreneurs (2)	Compréhension des rôles de acteurs (1)
Assistance à la conception (5)	Investissement financier/rentabilité (2)	Augmentation de la charge de travail (1)
Visualisation (4)	Réticences (2)	Apprentissage du vocabulaire (1)
Gestion des informations (4)	Multiciplité des outils (2)	
Outil de communication (4)	Réalité virtuelle (2)	
Utilité (4)		



### 3.7 Codes liés à la thématique du patrimoine culturel

Présent (11)	Pas responsable (2)	Sauvegarder l'existant (1)
	Faisable (2)	Intelligence artificielle (1)
	Utilité (2)	Nuage de points (1)
	En développement (2)	Déconstruction (1)
	Réalité virtuelle (2)	Numérisation du patrimoine (1)
	Scanner (2)	Outil de communication (1)
	Visualisation (2)	Optimisation (1)
	Idéal (2)	Gestion des informations (1)
	Précision (2)	BIM primaire (1)
	Lourdeur des données (2)	Géolocalisation (1)
	Futur (2)	Echelle des projets (1)
	Détection (2)	
	Drone (2)	

### 3.8 Codes liés à la thématique de la communication avec les usagers

Idéal (7)	Utilité (2)	Présence du modèle (1)
Communication en amont (5)	Prévoir les usages (2)	Investir dans le développement (1)
Cadrer les attentes (5)	Faire confiance à la donnée (2)	Moyens financiers et humains (1)
Rejet (4)	Manquer de confiance dans la voix des usagers (2)	Outil de communication (1)
Communication en aval (maintenance) (3)	Formation des acteurs (2)	Avoir une mauvaise visualisation en 3D (1)
Difficile (3)	Susciter des solutions innovantes (2)	Prendre des risques (1)
Envie (3)		Augmentation de la charge de travail (1)
		Impliquer les citoyens (1)
		Maturité numérique du secteur (1)
		Présent (1)
		Futur (1)
		Faisable (1)
		Serious game (1)
		Utilisabilité (1)

### 3.9 Codes liés à la thématique de la communication entre les acteurs du projet

Maturité numérique du secteur (10)	Rendre les usagers autonomes (2)	Difficile (1)
Maintenance de la maquette (7)	Travailler en BIM collectivement (2)	Objets connectés (1)
Formation des acteurs (5)	Vouloir travailler en BIM collectivement (2)	Utiliser un format universel (1)
Futur (5)	Investissement financier/rentabilité (2)	Confiance en la donnée (1)
Présent (4)	Uniformiser les données (2)	Vendre le BIM (1)
Utilité (4)	Outil de compréhension (2)	Intelligence artificielle (1)
Augmentation de la charge de travail (4)	Cadrer les attentes (2)	Volonté du maitre d'ouvrage (1)
Echelle des projets (3)		Perdre du temps (1)
Compétence des entrepreneurs (3)		Faisable (1)
Gestion des informations (3)		Accès à la technologie (1)
Idéal (3)		Augmenter la satisfaction (1)
Multiciplité des outils (3)		Réduire les conflits (1)
Utilisabilité (3)		Gagner du temps (1)
Interopérabilité (3)		Lourdeur des données (1)
Moyens financiers et humains (3)		Alertes BIM (1)
Maturité écologique du secteur (3)		Renouveler les process de construction (1)
		Cahier des charges BIM (1)

## Annexe 4 : Liste des codes par répondant

En vert, les nouveaux codes. En rouge, les codes déjà mentionnés par un précédent répondant.

Saturation générale	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11
	Rendre les usagers autonomes	Vendre le BIM	Phase d'exploitation	Volonté du maître d'ouvrage	Maturité écologique du secteur	Augmenter la satisfaction	Renouveler le processus de construction	Apprentissage du vocabulaire	Utilisabilité	Simulation	Communication
	Objets connectés	Multiplicité des outils	Gestion des conflits techniques	Uniformiser les données	Subjectivité de la sensation de confort	Réduire les conflits	Gain de temps	Identifier les causes d'inconfort	Interopérabilité	Communication	Echelle des projets
	Maturité numérique du secteur	Investissement financier/rentabilité	Attentes des usagers	Acceptation sur chantier	Poids des données	Cahier de charges BIM	Outil d'aide à la conception	Outil de compréhension	Visualisation	Sécurité des données	Moyens matériels, financiers, humains
	Compétence entrepreneur	Interopérabilité	Localisation	Manque de confiance dans la voix des usagers	Utilisabilité	Capteur	Analyser le bâtiment	Moyens matériels, financiers, humains	Maintenance du bâtiment	Interopérabilité	Interopérabilité
	Gestion des informations	Avoir confiance en la donnée	Augmentation des informations	Conserver l'autonomie du concepteur	Maintenance de la maquette	Compréhension des nœuds constructifs	Machine learning	Intégration des équipements provisoires	Localisation	Poids des données	Uniformiser les données
	Echelle des projets	Gestion ds informations	Résoudre les pannes	Multiplicité des outils	Maturité numérique du secteur	Faible précision des informations	Investir dans le développement	Cahier des charges BIM	Portativité	Vendre le BIM	Multiplicité des outils
	Maintenance de la maquette	Cahier des charges DS	Détection	Maturité numérique	Formation des acteurs	Compréhension du rôle des acteurs	Alerte BIM	Faible précision des informations	Détection	Multiplicité des outils	Maturité numérique du secteur
	Travailler en BIM collectivement	Drone	Efficacité	Augmentation de la charge de travail	Accès à la technologie	Jumeau numérique	Maintenance de la maquette	Visualisation	Outil de compréhension	Maturité numérique du secteur	Simulation
	Réalité augmentée	Intelligence artificielle	Intelligence artificielle	Gestion des informations	Rendre les usagers autonomes	Vérifier les flux de circulation	Poids des données	Poids des données	Echelle des projets	Formation des acteurs	Intelligence artificielle
	Outil de compréhension	Anticipation	Maintenance de la maquette	Echelle des projets	Investissement financier/rentabilité	Outil de compréhension	Maturité écologique du secteur	Accès à la technologie	Avoir confiance en la donnée	Investissement financier/rentabilité	Visualisation
	Formation des acteurs	Communication en aval	Travailler en BIM collectivement	Interopérabilité	Echelle des projets	Maintenance de la maquette	Maturité numérique du secteur	Augmentation de la charge de travail	Objets connectés	Echelle des projets	Outil de compréhension
	Visualisation	Simulation	Outil de communication	Formation des acteurs	Multiplicité des outils	Interopérabilité	Augmentation de la charge de travail	Objets connectés	Vérification des règles	Moyens matériels, financiers, humains	Planification
	Portativité	Communication en amont	Visualisation	Investissement financier/rentabilité	Contrôler le bâtiment	Vérification des règles	Avoir confiance en la donnée	Maintenance de la maquette	Apprentissage de la chronologie sur chantier	Capteur	Portativité
	Utilisabilité	Déconstruction	Maturité numérique du secteur	Formation virtuelle	Attentes des usagers	Réalité virtuelle	Visualisation	Alertes BIM	Prévoir les usages	Visualisation	Drone
	Diminution des risques	Etudier les nuisances sonores et acoustiques	Gestion des informations	Outil de communication	Outil de compréhension	Investissement financier/rentabilité	Rendre les usagers autonomes	Prévoir les usages	Réalité virtuelle	Accès à la technologie	Accès à la technologie
	Moyens matériels, financiers, humains	Vérification des règles	Outil de compréhension	Objets connectés	Moyens matériels, financiers, humains	Présence du modèle	Prévoir les usages	Réalité virtuelle	Drone	Vérification des règles	Capteur
	Accès à la technologie	Sécurité des données	Planification	Communication en amont	Avoir confiance en la donnée	Formation virtuelle	Formation des acteurs	Localisation	Moyens matériels, financiers, humains	Apprentissage de la chronologie sur chantier	Sentiment de surveillance par les ouvriers
	Géolocalisation	Alertes BIM	Accès à la technologie	Prévoir les usages	Détection	Intelligence artificielle	Planification	Planification	Formation virtuelle	Réalité virtuelle	Optimisation
	Formation virtuelle	Impliquer le citoyen	Rendre les usagers autonomes	Réalité virtuelle	Réalité augmentée	Détection	Echelle des projets	Echelle des projets	Rendre les usagers autonomes	Augmenter la satisfaction	Scanner
	Augmentation de la charge de travail	Prévoir les usages	Anticipation	Sentiment de surveillance par les ouvriers	Objets connectés	Simulation	Simulation	Géolocalisation	Augmentation de la charge de travail	Compréhension ds nœuds constructifs	Diminution des risques
	Contrôler le bâtiment	Réalité virtuelle	Augmentation de la charge de travail	Communication en amont	Objets connectés	Faible précision des informations	Formation virtuelle	Outil de communication	Portativité	Outil d'aide à la conception	
	Protection et sauvegarde du patrimoine	Maintenance du bâtiment	Objets connectés	Etudier les nuisances sonores/acoustiques	Etudier les nuisances sonores/acoustiques	Objets connectés	Outil de communication	Faible précision des informations	Manque de confiance dans la voix des usagers	Poids des données	
	Optimisation	Utilisabilité	Communication en aval	Visualisation	Maturité numérique du secteur	Contrôler le bâtiment	Analyser le bâtiment	Analyser le bâtiment	Subjectivité de la sensation de confort	Avoir confiance en la donnée	
	Apprentissage de la chronologie sur chantier	Maturité numérique	Investissement financier/rentabilité	Optimisation	Simuler l'éclairage artificiel	Vérification des règles	Investissement financier/rentabilité	Communication en aval	Contrôler le bâtiment	Rendre les usagers autonomes	
	Outil de communication	Formation des acteurs	Communication en amont	Apprentissage de la chronologie sur chantier	Scanner	Communication	Utilisabilité	Investissement financier/rentabilité	Efficacité	Analyser le bâtiment	
	Intervention pompiers	Augmentation de la charge de travail	Protection et sauvegarde du patrimoine	Scanner	Vérifier les flux de circulation	Vérification des règles	Communication en amont	Utilisabilité	Utilisabilité	Réalité augmentée	
	Présence du modèle	Compétence des entrepreneurs	Prévoir les usages	Portativité	Outil d'aide à la conception	Etudier les nuisances sonores/acoustiques	Protection et sauvegarde du patrimoine	Subjectivité de la sensation de confort			
	Innovation	Echelle des projets	Formation des acteurs	Accès à la technologie	Communication	Maturité numérique du secteur	Optimisation	Contrôler le bâtiment			
	Scanner	Maintenance de la maquette	Maintenance du bâtiment	Géolocalisation	Intervention pompiers	Alertes BIM	Serious game	Protection et sauvegarde du patrimoine			
	Intégration des équipements provisoires	Travailler en BIM collectivement	Innovation	Formation virtuelle	Maintenance du bâtiment	Formation des acteurs	Impliquer le citoyen	Maintenance de la maquette			
	Planification	Moyens matériels, financiers, humains	Intelligence artificielle	Scanner	Présence du modèle	Conservation l'autonomie du concepteur	Vérification des règles				
	Sentiment de surveillance par les ouvriers	Visualisation	Jumeau numérique	Présence du modèle	Serious game						
		Géolocalisation	Capteur	Scanner	Réalité virtuelle						
		Outil de communication	Outil de communication								
		Accès à la technologie	Investissement financier/rentabilité								
		Formation virtuelle	Manque de confiance dans la voix des usagers								
		Intégration des équipements provisoires	Efficacité								
		Scanner	Utilisabilité								
			Optimisation								
			Gestion des informations								
			Apprentissage de la chronologie sur chantier								
			Outil de compréhension								
			Scanner								
Nombre de nouveaux codes	32	22	8	5	3	9	6	2	0	0	0

### Profil

1. Quelle **formation** avez-vous suivie et combien **d'années d'expérience** avez-vous dans le milieu de la construction ? (en particulier BIM et durabilité)
2. Quelle est votre **utilisation du numérique** dans votre pratique professionnelle ? Utilisez-vous le **BIM** ? A quelle **fréquence** ? **Qu'en pensez-vous** ?

### PARTIE 1 : Contextualisation et définitions La durabilité dans les pratiques BIM

1. Quelle **définition** donneriez-vous du concept **d'Architecture durable** ?
  - Définition architecture durable :
    - une architecture **socialement équitable, écologiquement soutenable** et **économiquement viable**, du low-tech au high-tech (Contal et al., 2009a ; 2009b ; 2011 ; Lefèvre, 2012).
    - s'organise donc autour du concept de soutenabilité mettant en avant à la fois l'impératif de **durabilité des projets dans le temps**, et **celui d'acceptabilité sociale et environnementale** (Perysinaki, 2012).
2. Selon vous, quelles sont les thématiques peut-on traiter via le **BIM pour concevoir une construction durable** ? (rapidement, citer)
3. Connaissez-vous le concept de durabilité sociale ? Quelle en est votre définition ?
  - Mots-clés : **bien-être, participation, accessibilité, relations humaines, équité**

### PARTIE 2 : Exploration des usages BIM

1. En utilisant le tableau suivant (Annexes 6, 7 et 8), situez les usages de la liste selon qu'ils vous semblent faire partie du passé, du présent, du futur, ou d'un idéal.

L'idéal représente des usages pour lesquels le BIM pourrait apporter quelque chose d'intéressant pour la durabilité sociale des projets s'il n'y a aucune barrière économique, politique, administrative, ou contraintes technologiques.

2. Après avoir lu ces usages, pensez-vous à des usages supplémentaires ?

## Annexe 6 : Première version du tableau présenté en entretien

Ce tableau a été présenté lors des entretiens un à cinq compris.

### Durabilité sociale dans les pratiques BIM

Critères de durabilité sociale	Possibilités d'interaction avec le BIM
Sécurité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation des données de précédents chantiers pour identifier les accidents fréquents,</li> <li>- Vérification des règles de sécurité,</li> <li>- Estimation du coup des équipements de sécurité,</li> <li>- Localisation sur le chantier en temps réel des ouvriers et des équipements,</li> <li>- Utilisation de capteurs dans les casques des ouvriers,</li> <li>- Visualisation des espaces de sécurité requis pour manipuler les équipements,</li> <li>- Identification des conflits horaires entre équipes ou équipements lourds,</li> <li>- Gestion des interventions en cas d'incendie,</li> <li>- Entraînement et formation des usagers à la sécurité</li> </ul>
Confort des usagers	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Collecte des données liées à l'occupation du bâtiment,</li> <li>- Simulation de l'éclairage naturel,</li> <li>- Identification des causes d'inconfort liées à l'agencement des espaces,</li> <li>- Monitoring de la production d'électricité et de chauffage,</li> <li>- Estimation des coûts liés à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers</li> </ul>
Processus d'apprentissage pour les étudiants et professionnels de la construction	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visualisation des espaces,</li> <li>- Amélioration de la compréhension de l'aménagement des espaces,</li> <li>- Apprentissage des principes de construction durable par simulation</li> </ul>
Patrimoine culturel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modélisation de bâtiments à différentes époques, bibliothèques numériques de bâtiments historiques,</li> <li>- Surveillance des bâtiments,</li> <li>- Maintenance et entretien des bâtiments,</li> <li>- Réduction des coûts de maintenance</li> </ul>

Communication avec les usagers	- Visualisation partagée des solutions proposées, - Intégration de la participation citoyenne
Communication entre les acteurs du projet	- Recensement des échanges liés au projet, - Collaboration améliorée

*Synthèse des rôles du BIM dans les critères de durabilité sociale, production de l'auteur réalisée sur base des recherches de (Santos et al., 2019) et de (El-Diraby et al., 2017)*

#### **Références :**

El-Diraby, T., Krijnen, T., & Papagelis, M. (2017). BIM-based collaborative design and socio-technical analytics of green buildings. *Automation in Construction*, 82, 59-74.

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.004>

Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., & Pyl, L. (2019). Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction. *Automation in Construction*, 103, 221-234.

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.022>



## Annexe 7 : Deuxième version du tableau présenté en entretien

Ce tableau a été présenté lors des entretiens six à onze compris. Les usages listés par tirets sont les usages identifiés au cours du travail de recherche basé sur les travaux de Santos et al (2019) et de El-Diraby et al. (2017).

Les usages listés par étoiles sont les usages identifiés par les répondants un à cinq.

### Durabilité sociale dans les pratiques BIM

Critères de durabilité sociale	Possibilités d'interaction avec le BIM
Sécurité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation des données de précédents chantiers pour identifier les risques et accidents fréquents</li> <li>- Vérification des règles de sécurité</li> <li>- Estimation du coût des équipements de sécurité</li> <li>- Localisation sur le chantier en temps réel des ouvriers et des équipements</li> <li>- Utilisation de capteurs dans les casques des ouvriers</li> <li>- Visualisation des espaces de sécurité requis pour manipuler les équipements</li> <li>- Identification des conflits horaires entre équipes ou équipements lourds</li> <li>- Gestion des interventions en cas d'incendie</li> <li>- Entraînement et formation des usagers aux règles de sécurité</li> <li>** Modélisation des aménagements liés à la sécurité (échelle de secours, ligne de vie, ...) en phase conception</li> <li>** Modélisation des équipements de chantier par l'entrepreneur, y compris des équipements provisoires ou mobiles (échafaudages, gardes corps, zones de stockages, ...), en intégrant une composante temporelle</li> <li>** Vérification des réglementations et normes d'accès PMR</li> <li>** Visualisation des zones nécessaires à la maintenance des équipements</li> <li>* Utilisation de la maquette en tant qu'interface de visualisation des alertes de sécurité liées à la maintenance des équipements</li> <li>** Utilisation du modèle numérique par les pompiers en cas d'incendie</li> </ul>
Confort des usagers	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Collecte des données liées à l'occupation du bâtiment</li> <li>- Simulation de l'éclairage naturel et <i>artificiel</i> (*)</li> <li>- Identification des causes d'inconfort liées à l'agencement des espaces</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitoring de la production d'électricité, de chauffage et de la <i>ventilation (*)</i></li> <li>- Estimation des coûts liés à la rénovation du bâtiment dans le but d'améliorer le confort des usagers</li> <li>* Amélioration de la compréhension du contrôle par les usagers de la consommation des équipements (électricité, chauffage, luminosité, ...) à partir d'une application téléphone</li> <li>** Analyses acoustiques</li> <li>** Analyses des flux de circulation des usagers</li> <li>* Analyse des flux de circulation de l'air</li> <li>* Gestion du patrimoine végétal</li> </ul>
--	--

Processus d'apprentissage pour les étudiants et professionnels de la construction	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visualisation des espaces</li> <li>- Amélioration de la compréhension de l'aménagement des espaces</li> <li>- Apprentissage des principes de construction durable par simulation</li> <li>**** Apprentissage par simulation en immersion virtuelle (conception, construction, travail en hauteur)</li> <li>** Simulation du processus chronologique de la construction</li> <li>* Apprentissage des jeux d'acteurs dans la construction</li> <li>* Apprentissage des techniques de construction, amélioration de la compréhension des nœuds constructifs</li> </ul>
Patrimoine culturel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modélisation de bâtiments à différentes époques</li> <li>- Bibliothèques numériques de bâtiments historiques</li> <li>- Surveillance des bâtiments</li> <li>- Maintenance et entretien des bâtiments</li> <li>- Réduction des coûts de maintenance</li> <li>** Détection des fissures et des pathologies des bâtiments</li> <li>* Exposition des endroits non-accessibles au public à travers une immersion virtuelle dans une maquette numérique</li> </ul>
Communication avec les usagers	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visualisation partagée des solutions proposées</li> <li>- Intégration de la participation citoyenne</li> <li>* Communication aux locataires à propos des entretiens à réaliser</li> <li>* Suivi des résolutions des pannes (en attente, en cours, terminé)</li> </ul>

	* Diagnostic des pannes à distance, sur base d'une communication virtuelle avec les usagers
Communication entre les acteurs du projet	- Recensement des échanges liés au projet - Collaboration améliorée

*Synthèse des rôles du BIM dans les critères de durabilité sociale, production de l'auteur réalisée sur base des recherches de (Santos et al., 2019) et de (El-Diraby et al., 2017), complétée des apports identifiés par interview*

**Références :**

El-Diraby, T., Krijnen, T., & Papagelis, M. (2017). BIM-based collaborative design and socio-technical analytics of green buildings. *Automation in Construction*, 82, 59-74.  
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.004>

Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., & Pyl, L. (2019). Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction. *Automation in Construction*, 103, 221-234.  
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.022>

## Annexe 8 : Tableau présenté en entretien – Version en néerlandais

Ce tableau est une version du tableau de l'annexe 7 traduite en néerlandais. Il a été utilisé lors de l'entretien neuf en complément du tableau présenté en annexe 7, pour communiquer avec un répondant bilingue néerlandais-français, dont la langue maternelle était le néerlandais.

### SOCIALE DUURZAAMHEID IN BIM-PRAKTIJKEN

Criteria voor sociale duurzaamheid	Interactiemogelijkheden met BIM
<b>Veiligheid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gegevens van eerdere locaties gebruiken om veel voorkomende risico's en ongevallen te identificeren</li> <li>- Veiligheidsvoorschriften controleren</li> <li>- Inschatting van de kosten van veiligheidsuitrusting</li> <li>- Real-time locatie van werknemers en apparatuur op de bouwplaats</li> <li>- Gebruik van sensoren in de helmen van werknemers</li> <li>- Visualisatie van de veiligheidszones die nodig zijn voor het hanteren van materieel</li> <li>- Identificatie van tijdsconflicten tussen teams of zwaar materieel</li> <li>- Beheer van interventies in geval van brand</li> <li>- Opleiding en vorming van gebruikers in veiligheidsregels</li> <li>** Modelling van veiligheidsvoorzieningen (vluchtladder, reddingslijn, enz.) in de ontwerpfase</li> <li>** Modelling van de uitrusting van de bouwplaats door de aannemer, met inbegrip van tijdelijke of mobiele uitrusting (steigers, relingen, opslagplaatsen, ...), met inbegrip van een tijdscomponent</li> <li>** Verificatie van de voorschriften en normen voor de toegang tot PBM's</li> <li>** Visualisatie van de zones die nodig zijn voor het onderhoud van de uitrusting</li> <li>** Gebruik van het model als interface voor de visualisatie van veiligheidswaarschuwingen in verband met het onderhoud van apparatuur</li> <li>** Gebruik van het digitale model door de brandweer in geval van brand</li> </ul>
<b>Comfort voor de gebruikers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verzamelen van gegevens over de bezetting van het gebouw</li> <li>- Simulatie van natuurlijke en kunstmatige verlichting (*)</li> <li>- Identificatie van oorzaken van ongemak in verband met de indeling van ruimten</li> <li>- Monitoring van elektriciteitsproductie, verwarming en ventilatie (*)</li> <li>- Schatting van de kosten voor de renovatie van het gebouw om het gebruikerscomfort te verbeteren</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Beter begrip van de controle door de gebruiker van het verbruik van apparatuur (elektriciteit, verwarming, verlichting, enz.) met behulp van een telefoontoepassing</li> <li>** Akoestische analyse</li> <li>** Analyse van gebruikersstromen</li> <li>* Analyse van de luchtcirculatiestromen</li> <li>* Beheer van het plantaardig erfgoed</li> </ul>
--	--

<b>Leerproces voor studenten en bouwprofessionals</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visualisatie van ruimtes</li> <li>- Beter begrip van ruimteplanning</li> <li>- Leren van duurzame bouwprincipes door simulatie</li> <li>*** Simulatieleren in virtuele onderdompeling (ontwerp, werken op hoogte)</li> <li>** Simulatie van het chronologische bouwproces</li> <li>* Leren over het samenspel van actoren in de bouw</li> <li>* Leren van bouwtechnieken, verbetering van het begrip van bouwkundige knooppunten</li> </ul>
<b>Cultureel erfgoed</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelleren van gebouwen in verschillende periodes</li> <li>- Digitale bibliotheken van historische gebouwen</li> <li>- Monitoren van gebouwen</li> <li>- Onderhoud van gebouwen</li> <li>- Vermindering van onderhoudskosten</li> <li>* Detectie van scheuren en pathologieën in gebouwen</li> </ul>
<b>Communicatie met gebruikers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gedeelde visualisatie van voorgestelde oplossingen</li> <li>- Integratie van burgerparticipatie</li> <li>* Communicatie naar huurders over uit te voeren onderhoud</li> <li>* Volgen van storingsoplossingen (in behandeling, in uitvoering, voltooid)</li> <li>* Diagnose op afstand van storingen, gebaseerd op virtuele communicatie met gebruikers</li> </ul>
Communicatie tussen belanghebbenden bij het project	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificatie van projectgerelateerde uitwisselingen</li> <li>- Beter samenwerking</li> </ul>

*Synthese van de rollen van BIM in sociale duurzaamheidscriteria, geproduceerd door de auteur op basis van het onderzoek van (Santos et al., 2019) en (El-Diraby et al., 2017), aangevuld met de input die uit interviews naar voren is gekomen.*

**Referenties:**

El-Diraby, T., Krijnen, T., & Papagelis, M. (2017). BIM-based collaborative design and socio-technical analytics of green buildings. *Automatisering in de bouw*, 82, 59-74. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.004>

Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., & Pyl, L. (2019). Informetrische analyse en literatuuroverzicht over de rol van BIM in duurzaam bouwen. *Automatisering in de bouw*, 103, 221-234. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.022>