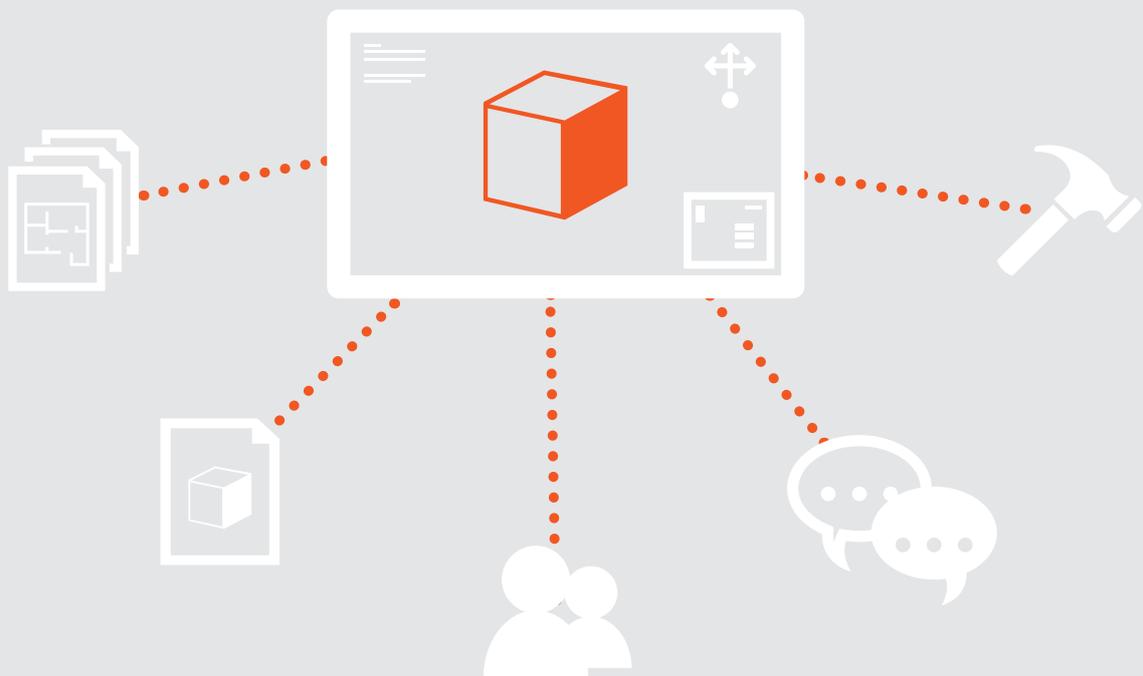


Développement des échanges de fichiers entre deux acteurs de la construction

stage en centre de recherche



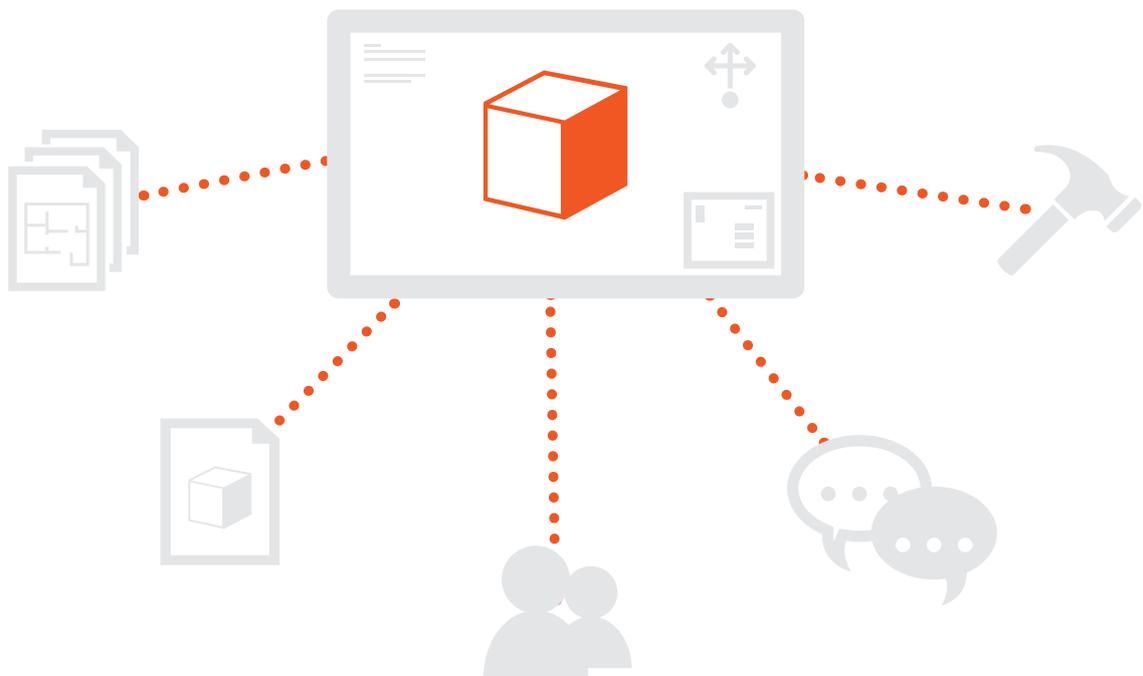
Mémoire de Master Design Global
Spécialité Architecture Modélisation et Environnement. **Mention recherche**

Elodie HOCHSCHEID

Sous la direction de : Mohamed Anis Gallas, Damien Hanser, Olivier Malcurat.

Soutenu le 23 Septembre 2015.

Développement des échanges de fichiers entre deux acteurs de la construction



Mémoire de Master Design Global
Spécialité Architecture Modélisation et Environnement. **Mention recherche**

Elodie HOCHSCHEID

Sous la direction de : Mohamed Anis Gallas, Damien Hanser, Olivier Malcurat.

Soutenu le 23 Septembre 2015.

Remerciements

Merci à Marc, mon binôme pour ce stage (et pour à peu près tous les exercices en groupe depuis deux ans), d'avoir supporté de travailler avec moi tout ce temps.

Je tiens également remercier l'ensemble du personnel du CRAI, pour le cadre, l'ambiance de travail et la bonne humeur que j'ai pu trouver au laboratoire grâce à eux.

Merci à Damien Hanser pour avoir mis en place ce stage, et le partenariat entre le laboratoire, Maddalon frères et l'atelier MPA. C'est ce qui nous a donné la possibilité à Marc et moi de travailler sur un sujet d'actualité et particulièrement intéressant, et ce dans un contexte tout à fait favorable.

Je remercie à nouveau Damien Hanser, Olivier Malcurat et Anis Gallas, dans un premier temps pour leur confiance, la liberté et l'autonomie qu'ils nous ont laissé développer concernant la conduite du stage, mais également pour les pistes et conseils qu'ils nous ont soufflés tout au long de celui-ci.

Merci à toute la famille Maddalon pour leur accueil, à Marilyne et Julien pour leur enthousiasme et leur motivation, ainsi qu'à Pierre de chez Maddalon frères pour sa disponibilité et sa gentillesse.

Je remercie Anthony Gumiero, notre contact chez Cadwork, pour son amabilité, et pour nous avoir donné accès au logiciel.

Et enfin, un très grand merci aux doctorants et aux docteurs du CRAI : Julien, Oskar, Anis et Kévin. Merci de votre soutien, vos conseils, votre bienveillance, et tout simplement l'amitié que vous me portez.

Table des matières

Introduction	1
Contexte général	1
Contexte du stage	1
La demande, et le besoin	1
Le contexte est favorable, mais des verrous existent	3
Objectifs de notre travail, moyens mis en œuvre	4
Plan du rapport	6
I. Etat de l'art général : notions manipulées	7
L'ouvrage, les acteurs, la collaboration	7
Les acteurs	7
L'activité	8
Travailler ensemble	9
BIM ?	10
Le principe	10
Maquette Numérique et Approche Orientée Objet	12
L'interopérabilité	18
Le Format IFC	19
Aujourd'hui, le BIM intéresse mais on s'interroge	27
Des enjeux et acteurs multiples	27
Un intérêt croissant pour le BIM	28
Mais les obstacles sont nombreux	31
Des difficultés et verrous multiples	31
Conclusion	33
II. Etat de l'art : outiller la démarche	34
Méthode développée par l'Université de Pennsylvanie	34
Le P.E.P.G. : un projet ambitieux.	34
Les quatre phases de la méthode	35
Conclusion et regard critique sur la méthode	39
Le changement	40
Généralités	40
Différents aspects du changement	40
Conclusion sur la notion de changement	44
Comprendre et modéliser les pratiques métier	45
Modéliser des pratiques métier et des processus d'échanges	46
Conclusion	48

III. Proposition d'une méthode	49
Ebauche d'une méthode générale	49
La méthode partielle expérimentée	50
Mise en œuvre de la méthode	50
IV. Expérimentation et développement des échanges	55
ArchiCAD -> cadwork	
Premiers tests et méthodologie	55
Facteurs impactant l'interopérabilité	58
Proposition d'une solution aux problèmes d'interopérabilité	65
Récupération et lecture des informations	67
Sélection des informations à exporter	68
Entretien avec l'entreprise de charpente pour faire des tests d'import	69
Conclusion	70
De cadwork vers ArchiCAD ?	70
Conclusion générale	71
Notes de Références	75

Introduction

Contexte général

« Les architectes français traversent une période difficile et sont confrontés à une transformation de leur environnement technique et professionnel qui questionne leur légitimité dans l'acte de bâtir, et à une crise économique sans précédent qui atteint en profondeur le secteur du bâtiment. (...) La révolution numérique en marche va transformer encore profondément les pratiques professionnelles. Pour faire face à ces mutations et à ces défis, les architectes doivent mener analyses, réflexions et actions pour l'avenir de la profession. »

François ROUANET, vice-président du Conseil national de l'ordre des architectes, 2015.

C'est dans ce contexte particulièrement difficile que s'inscrit notre travail. Nous allons évoquer les différents aspects de la « révolution numérique » qui touchent la profession de l'architecte et les acteurs du secteur du bâtiment, en particulier certains des enjeux et des questions que soulèvent la « maquette numérique » et le « BIM » qui font tant parler d'eux, surtout ces derniers mois.

L'objectif de notre recherche est d'expérimenter une méthode qui permet aux entreprises d'engager la transition vers une utilisation optimisée des outils numériques, en tenant compte des verrous actuels. Nous allons dans un premier temps décrire notre contexte de travail, pour identifier les verrous auxquels nous allons devoir faire face, pour déterminer la direction de nos recherches.

Contexte du stage

La demande, et le besoin

Le stage repose sur un partenariat entre d'une part le laboratoire de recherche MAP / CRAI de l'école d'architecture de Nancy, et d'autre part deux entreprises qui souhaitent optimiser leurs échanges de fichiers, en ayant recours au format IFC.

Il s'agit d'une agence d'architecture qui a fait récemment l'acquisition du logiciel ArchiCAD, qui s'est formée à l'utiliser, et d'une entreprise de charpente bois à laquelle est intégré un bureau d'étude qui travaille très régulièrement avec cette agence d'architecture : les deux structures bénéficient d'un lien privilégié et d'une confiance mutuelle.

Mode de fonctionnement, origine du besoin

Les architectes, qui travaillaient jusque-là en 2D avec AutoCAD, transmettaient des plans et coupes à l'entreprise de charpente, qui créait alors à partir de ces documents un modèle 3D pour générer les géométries à envoyer aux machines à commandes numériques, ainsi que des quantitatifs et estimatifs. Ils créaient donc à partir de ce modèle 3D deux types de documents :

- Les documents internes à l'entreprise de charpente, pour la réalisation des pièces
- Les documents qu'ils envoient aux architectes pour qu'ils puissent les valider pour le chantier.

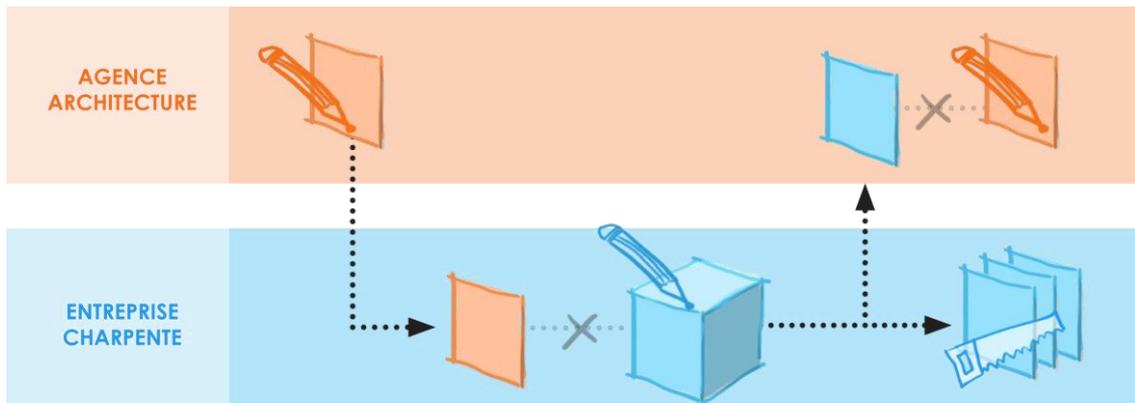


Figure 1 : Schéma simplifié des échanges de fichiers entre les deux structures

Or il existe dans ce schéma deux étapes durant lesquelles on observe une discontinuité de modèle (symbolisées sur le schéma précédent par des croix), sources possibles d'erreurs. Il s'agit tout d'abord du moment de la ressaisie du modèle 2D vers un modèle 3D, puis de l'étape de validation des plans par les architectes. Bien que ces professions appartiennent toutes deux au secteur du bâtiment, et que les acteurs en présence travaillent régulièrement ensemble, ils n'adoptent pas nécessairement les mêmes conventions graphiques et sémantiques.

Dans notre cas, une erreur de cotation et/ou de mauvaise interprétation est donc tout à fait possible dans un sens comme dans l'autre.

Une nouvelle méthode ?

Comme nous l'avons évoqué plus tôt, les architectes ont récemment fait l'acquisition du logiciel d'architecture ArchiCAD, qui leur permet de travailler en trois dimensions, et de générer leurs plans et coupes à partir du modèle créé. Seulement, si du temps est investi à l'agence pour produire un modèle en trois dimensions, qui contient en plus des informations non géométriques (type de matériaux... etc.), l'étape de construction 3D à l'entreprise de charpente devient redondante. Se pose alors la question de la mise en place d'un nouveau type d'échanges entre les deux structures.

L'entreprise de charpente devrait pouvoir récupérer le modèle des architectes qui contient des informations géométriques et sémantiques, afin de le retravailler pour créer les pièces à usiner. Cela évite les erreurs d'interprétations d'ordre géométrique. De même que pour la seconde étape délicate, les architectes pourraient récupérer à la fois les plans à viser (issus de la géométrie), et le modèle détaillé fait par l'entreprise de charpente afin de le superposer au sien et détecter d'éventuelles erreurs.

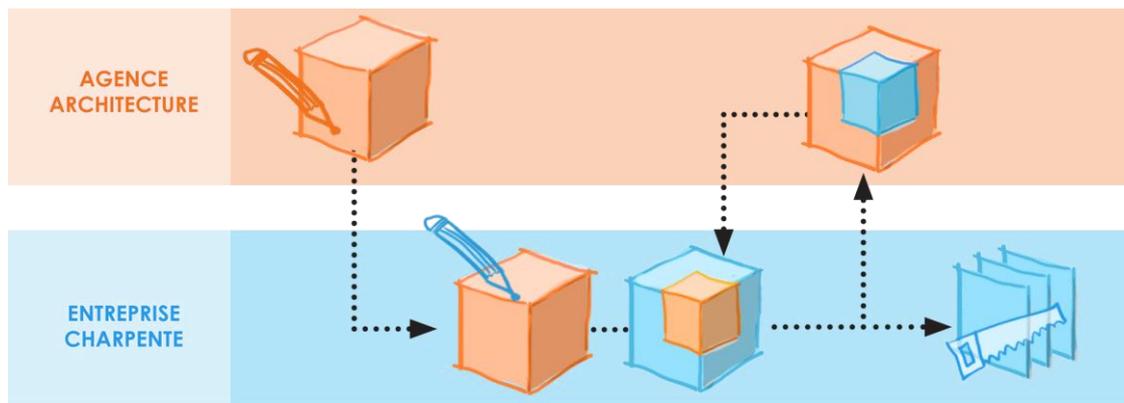


Figure 2 : Schéma simplifié des échanges souhaités entre les deux entreprises

Dans le schéma d'échanges souhaités, aucune discontinuité de modèle n'est notée, et l'intégration de géométrie venant de l'un ou l'autre des acteurs doit pouvoir être possible.

Ce schéma répond également à une contrainte observée par les architectes, qui est que des modifications se font régulièrement en phase chantier. Il est alors pour eux particulièrement difficile de vérifier la compatibilité du travail des charpentiers avec celui des autres corps de métier. La possible intégration d'une partie de modèle provenant des charpentiers à celui des architectes devrait pouvoir permettre d'effectuer des vérifications virtuelles en phase chantier.

Les bénéfices potentiels que peut engendrer ce changement de schéma d'échanges sont donc les suivants :

- Gain de temps pour l'entreprise de charpente, lié à la suppression de l'étape de construction d'une géométrie de base.
- Gain en fiabilité liée à la continuité du modèle, et à la suppression de l'étape d'interprétation de cotes
- Gain en lisibilité pour les architectes, concernant les documents provenant de l'entreprise de charpente.
- Possibilité de diminution des erreurs sur chantier, grâce à des vérifications virtuelles.

Le contexte est favorable, mais des verrous existent

Comme nous l'avons évoqué précédemment, certains éléments contextuels rendent possible l'expérimentation, mais des verrous subsistent.

Contexte favorable

- Tout d'abord, les architectes et l'entreprise de charpente **semblent saisir les avantages et bénéfices** que chacun peut tirer de ce changement de méthode.
- Les **gains** sont **mutuels** : chacun des acteurs gagne à participer.
- Le climat entre les deux structures semble également favorable, puisqu'elles travaillent régulièrement ensemble et qu'elles ont entrepris cette démarche conjointement. Elles sont donc dans **un climat de confiance** l'une par rapport à l'autre.

- L'agence d'architecture a **un logiciel adapté** à la demande
- L'agence d'architecture bénéficie également **d'un lien privilégié avec le laboratoire de recherche**, puisqu'un des deux architectes de l'agence est enseignant à l'école et connaît bien les travaux du CRAI.
- Le **climat économique actuel est favorable** à l'agence, qui peut rémunérer au moins un stagiaire
- Bien qu'étant malheureuse, **une erreur est survenue récemment** dans le processus de transfert-lecture-réécriture des fichiers qui est en place actuellement : le modèle 3D réalisé par les charpentiers ne correspondait pas à la coupe des architectes. Ceux-ci n'ont donc pas pu repérer l'erreur sur les documents à viser, qui n'étaient pas suffisamment cotés. Cela **a mis en évidence la faille la plus importante du mode de transfert de travail en place actuellement.**

Les Problèmes identifiés

- Aucun des deux acteurs ne dispose du **temps** suffisant pour mettre en place de ce processus d'échange.
- Les **budgets** sont **très limités**.
- Même si l'entreprise de charpente travaille depuis longtemps avec son logiciel (cadwork), **les architectes**, eux, **commencent seulement à utiliser ArchiCAD**, qui nécessite un temps d'adaptation.
- Le niveau de détail et le type de modélisation concernant les fichiers échangés sont très différents des fichiers internes aux deux structures. Il s'agit d'**intégrer les deux objectifs** : le fichier qui va être échangé doit être adapté à l'échange, mais doit avant tout répondre aux besoins internes de l'agence/l'entreprise de charpente.
- Après des tests d'échanges IFC rapides, nous nous sommes aperçus que les géométries et les informations contenues dans les documents n'étaient pas toujours bien conservées d'un logiciel à l'autre : on observe des **problèmes de compatibilité**.

Objectifs de notre travail, moyens mis en œuvre

Nous avons choisi, dans un premier temps, d'avoir recours à un « projet test » qui est en phase chantier au moment du début de l'expérience. Ce projet a donc suivi l'ancien processus, et a par ailleurs permis de mettre en évidence les imperfections de celui-ci. Il s'agit du projet sur lequel l'erreur précédemment citée avait été commise. Modéliser ce projet et lui faire suivre le nouveau processus d'échange entre les deux structures permet de confirmer ou infirmer le fait que les erreurs auraient pu être évitées. Cela permet de comparer les deux processus, pour évaluer les bénéfices du nouveau.

Pour cela, et au vu des verrous identifiés, nous avons mis en place un système de double stage.

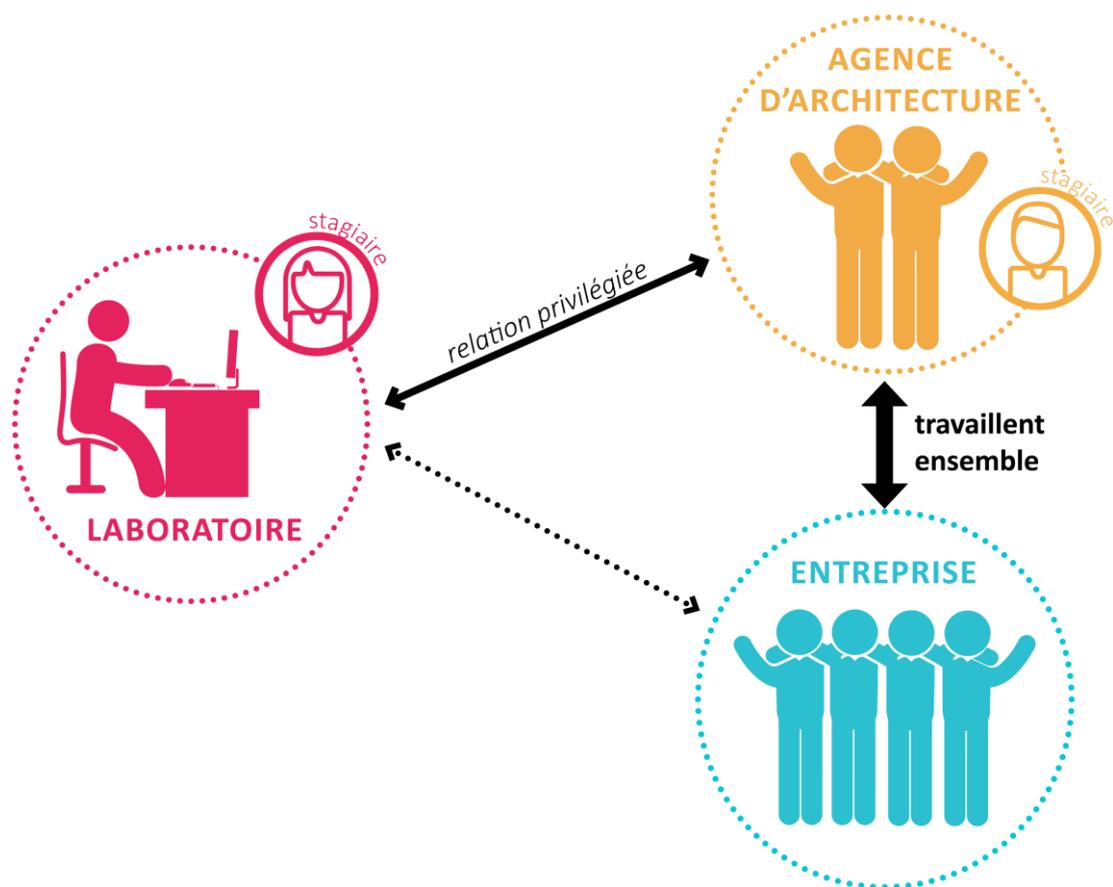


Figure 3 : Schéma de lien entre les acteurs de l'expérience

Un premier étudiant (Marc RIBEREAU) est en stage à l'agence d'architecture, pour modéliser ce « projet test » et identifier les pratiques ArchiCAD adaptées aux exigences des architectes, mais également pour participer à la vie de l'agence, en observer les pratiques de travail, et les aider dans leurs tâches quotidiennes, notamment sur ArchiCAD.

Un second stage, que j'ai suivi, comporte la partie plus théorique du travail, à savoir d'outiller notre recherche : il s'agit d'identifier les différentes problématiques soulevées par la mise en place d'un tel processus de travail en établissant un état de l'art, puis d'essayer de lever les verrous techniques liés aux transferts de fichiers défectueux.

Marc et moi-même avons travaillé dans un premier temps en parallèle de manière complémentaire, puis avons mis en commun nos expériences pour un travail expérimental.

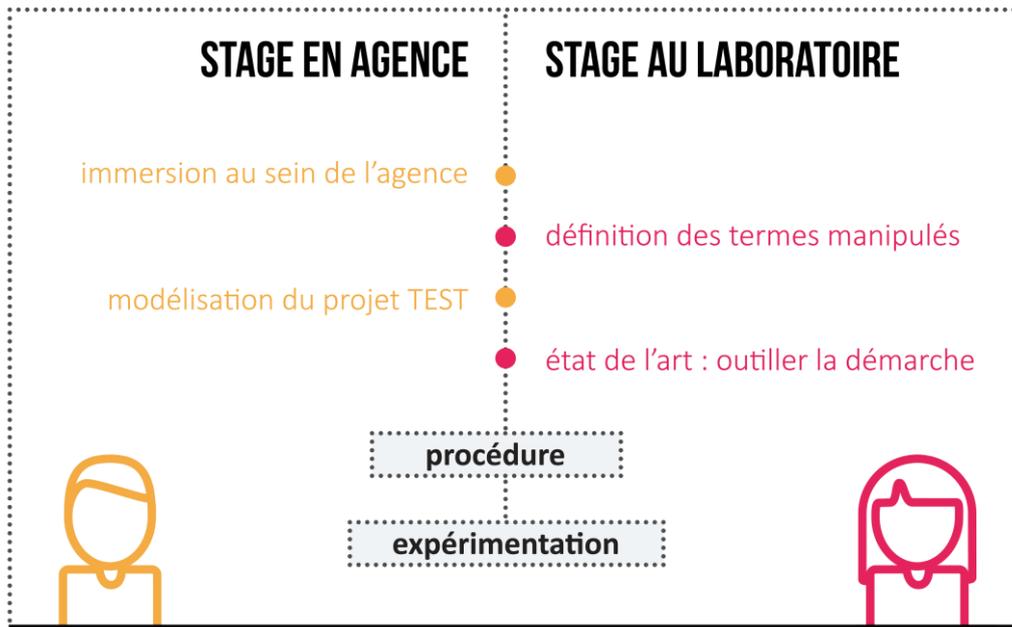


Figure 4 : Répartition du travail entre les deux étudiants : contexte de l'expérimentation

L'objectif de la recherche que nous menons est donc de mettre en place une méthodologie de mise en œuvre de ce type d'échanges, en se basant notamment sur les informations réunies grâce à l'immersion en agence, et rassemblées dans un état de l'art, et de la mettre en application pour en situer les faiblesses.

Plan du rapport

Dans un premier temps, nous définirons les différentes notions que nous serons amenés à manipuler au cours de notre travail (p.7, Etat de l'art général : notions manipulées). Elles concernent tout aussi bien l'aspect collaboratif que l'aspect informatique de celui-ci. Cette première étape nous permet d'assimiler les concepts et notions pour effectuer un état de l'art concernant les outils (p.34, Etat de l'art : outiller la démarche) qui nous permettront ensuite de mettre en place une méthode de travail (p.49, Proposition d'une méthode). Enfin, la partie d'expérimentation (p.55, Expérimentation et développement des échanges) nous permettra de mettre partiellement en application la méthode que nous avons proposée, et d'en dégager des observations et conclusions (p.71 Conclusion).

I. Etat de l'art général : notions manipulées

L'ouvrage, les acteurs, la collaboration

Les acteurs

Notre expérimentation s'inscrit dans un processus global construit autour de l'ouvrage et d'un collectif d'acteurs. Entendons par « acteurs » de la construction l'ensemble des personnes ou entités qui agissent dans le but de concevoir, construire ou gérer l'ouvrage. Le nombre d'acteurs varie en fonction de la nature du projet, mais nous pouvons distinguer quatre grandes familles d'acteurs caractérisées par leurs fonctions.¹

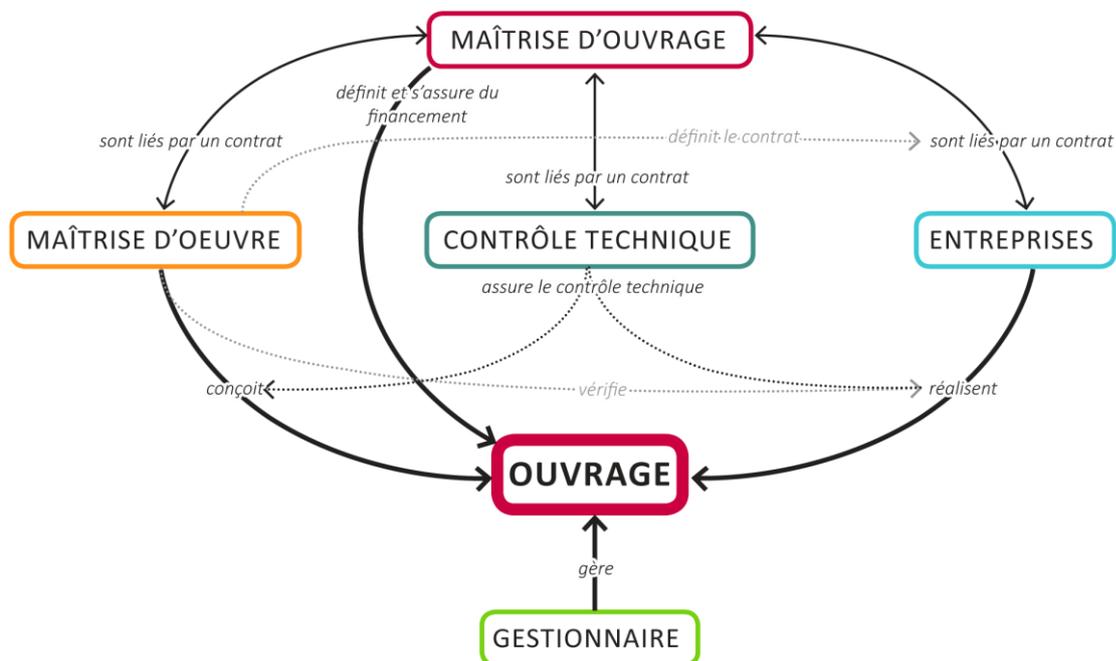


Figure 5 : Rôle des acteurs entre eux par rapport à l'ouvrage, d'après un document d'O.Malcurat, 2002.

- La maîtrise d'ouvrage est la personne physique ou morale pour qui l'ouvrage est construit.
- La maîtrise d'œuvre est la personne physique ou morale qui assure la responsabilité de la qualité

¹ MALCURAT, Olivier. *Contribution au développement d'un outil d'assistance à l'ingénierie concurrente dans le domaine de l'architecture et du BTP*. [S. l.] : [s. n.], 2002.

architecturale et technique de l'ouvrage, ainsi que le respect du délai et des coûts pour le compte de la maîtrise d'œuvre.

- L'équipe de réalisation, qui est chargée par contrat de la maîtrise d'œuvre ou d'ouvrage de la responsabilité de la construction de l'ouvrage.
- À ces trois grandes familles, nous ajoutons le gestionnaire, qui intervient après la construction de l'ouvrage, pour sa maintenance et son entretien. Il peut s'agir du maître d'ouvrage, ou d'une personne physique ou morale qui est liée par contrat avec la maîtrise d'ouvrage. Il est de plus en plus mentionné aujourd'hui lorsque l'on parle de BIM et de maquette numérique, car il fait partie des principaux bénéficiaires de ces nouveaux outils.

L'activité

Notre travail consiste en partie à outiller l'activité de professionnels de la construction, ainsi que leur travail en équipe. L'activité est définie comme étant **un ensemble d'opérations humaines dirigées vers une finalité**². La théorie de l'activité a connu un regain d'intérêt ces dernières années en sciences sociales, et est citée très régulièrement dans des travaux concernant l'outillage des pratiques collaboratives de conception.^{3,4}

L'étude de la distinction que fait Leonitev entre l'activité, l'action et l'opération nous permettra, lors des premières phases de l'expérimentation, de mieux décrire et comprendre les pratiques au sein des entreprises. Voici la manière dont Daniel Zignale (2013) résume l'étude de Damien Hanser (2003) sur les travaux de Leonitev:

- L'activité est un processus de transformation visant à atteindre un objectif final découpé en plusieurs phases ou étapes.
- Les actions émanent de la décomposition et de l'organisation consciente de l'activité.
- Les opérations composent l'action et sont réalisées de manière inconsciente.

² *Activité : Définition dans le dictionnaire - Linternaute* [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 22 avril 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/activite/>.

³ HANSER, Damien. *Proposition d'un modèle d'auto coordination en situation de conception, application au domaine du bâtiment*. [S. l.] : [s. n.], 2003.

⁴ ZIGNALE, Daniel. *Concevoir des services collaboratifs adaptés à des pratiques métiers : une méthode centrée usages*. [S. l.] : [s. n.], 2013.

Travailler ensemble

La collaboration, coopération

Collaborer et coopérer sont deux termes similaires, qui caractérisent la manière dont le travail de groupe s'organise. Il nous a donc semblé intéressant de saisir les nuances qui les différencient, afin d'en appréhender les différents enjeux.

La coopération repose sur une répartition du travail en équipes spécialisées qui ont chacune leurs responsabilités et qui sont toutes gérées par une entité tierce. Le travail arrive à son terme lorsque chacune des équipes a terminé sa partie et/ou que les différentes parties sont rassemblées.

La collaboration repose quant à elle sur le partage du travail entre les membres ou les équipes. Dans cette configuration, chaque entité ou membre n'a accès qu'à une description partielle de l'objet final du travail. En ce sens, la collaboration revêt un aspect plus participatif, et repose sur la discussion, l'échange ainsi que la mise en commun des idées : cela nécessite confiance et consensus entre les membres du groupe⁵.

La confiance

Annie Guerriero a étudié dans sa thèse⁶, *La représentation de la confiance dans l'activité collective* différentes approches et définitions de la confiance. On y retrouve notamment celle d'un sociologue, Niklas Luhmann et d'un psychologue, Morton Deutsch. Luhmann définit la confiance comme étant « un mécanisme de réduction de la complexité sociale » et établit un lien entre la notion de confiance et celle de risque : lorsque l'on fait confiance à quelqu'un sur un thème particulier, on aurait selon lui évalué que le risque encouru en faisant confiance à cette personne était minime. Morton Deutsch a étudié les conditions de création d'une situation de confiance. Ses travaux et expérimentations lui ont permis de mettre en évidence des caractéristiques contextuelles qui peuvent faciliter le développement de la confiance. Annie Guerriero cite les suivantes :

- L'opportunité pour chaque personne de savoir ce que l'autre personne fera avant qu'elle ne s'engage de manière irréversible dans un choix de confiance.
- L'opportunité et la capacité de communiquer pleinement un système de coopération qui définit d'une part, les responsabilités mutuelles, et d'autre part, la procédure pour retourner à une situation limitant les inconvénients en cas de violation.

⁵ GLESS, Henri-Jean. *Création d'un serious game en vue d'une introduction aux pratiques collaboratives*. [S. l.] : [s. n.], 2014.

⁶ GUERRIERO, Annie. *La représentation de la confiance dans l'activité collective*. [S. l.] : [s. n.], 2009.

- Le pouvoir d'influencer le résultat d'une autre personne, et donc de réduire un avantage quelconque qu'il pourrait avoir en se comportant d'une manière qui ne serait pas digne de confiance.
- La présence d'une personne tierce qui serait garante de la relation de confiance de sorte que la violation de la confiance par un individu se ferait au détriment de ses propres intérêts envers cette personne tierce.

BIM ?

Le principe

Origine, enjeux

Depuis la généralisation de l'utilisation de l'outil informatique dans différents domaines et notamment celui de la construction, l'architecte, l'ingénieur et le gestionnaire utilisent aujourd'hui sur une certaine représentation de l'ouvrage comme support de travail : il s'agit d'un modèle de l'ouvrage. Ces **modèles** fragmentaires peuvent être **géométriques** : en deux ou trois dimensions, ou encore **non géométrique**, comme dans un tableau de données par exemple pour la gestion et l'entretien de l'ouvrage. Les informations intégrées dans ces différents modèles monodisciplinaires peuvent être redondantes, complémentaires ou, en cas d'erreur, contradictoires.

Ce que l'on appelle « BIM » peut revêtir plusieurs aspects, mais concerne toujours la centralisation, le recoupement et regroupement des informations en un modèle potentiellement pluridisciplinaire et plurivalent, qui outille le travail d'équipe. Les différents acteurs participent à la construction du modèle global qu'ils partagent et que chacun d'entre eux peut ensuite exploiter de la manière qui lui convient.

« Le BIM est une manière intégrée de travailler, permettant une conception, une exécution et une gestion de bâtiments et de biens immobiliers elles aussi intégrées ».⁷

⁷ CELNIK, Olivier, LEBÈGUE, Éric et NAGY, Guersendre. *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Paris; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 2014, p. 37. ISBN 9782212138368 2212138369 9782868916136 2868916139.

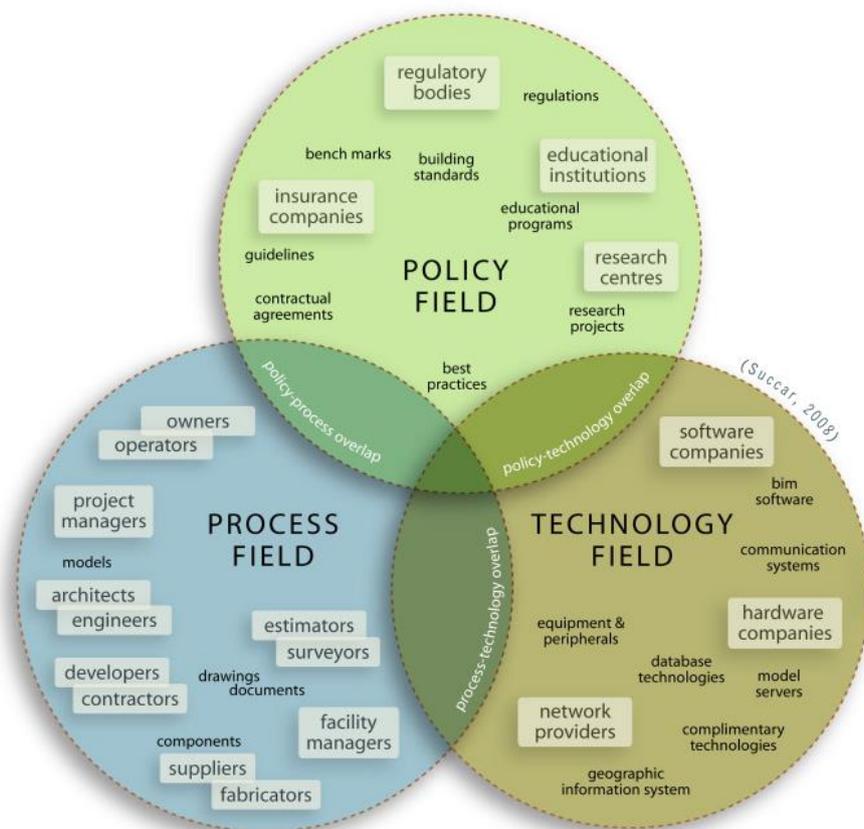


Figure 6 : BIM fields (Domains du BIM), Bilal Succar, 2008

Dans ce schéma issu du travail de Bilal Succar⁸, qui a soutenu sa thèse en 2013, on retrouve les différents domaines que rassemble le BIM. On y retrouve **le processus de conception** (*Process field*), **les technologies employées** (*Technology field*), mais également **les règles de l'art** (*policy field*). Cette méthode de travail (BIM) est donc directement dépendante du développement de ces trois domaines. C'est pourquoi les pistes de recherches concernant le BIM sont aujourd'hui centrées sur le processus de conception et les relations entre les différents acteurs du projet, sur les technologies employées, et le cadre réglementaire du monde de la construction.

Le sigle « BIM » peut signifier à la fois « *Building Information Model* », « *Modelling* » ou « *Management* ». Le même acronyme est donc utilisé pour désigner trois choses bien distinctes : le modèle lui-même (modèle qui contient les informations du bâtiment), **le processus de travail** de ceux qui utilisent ces outils (modélisation des informations du bâtiment), et **le processus de gestion du projet** à travers des outils comme la maquette

⁸ SUCCAR, Bilal. *Building Information Modelling: conceptual constructs and performance improvement tools*. PhD Thesis. [S. l.] : [s. n.], 2013.

numérique (management des informations du bâtiment).

Mais l'acronyme « BIM » est victime de son succès : il a aujourd'hui perdu de son intelligibilité, à cause de l'engouement des professionnels et des médias pour celui-ci. Le terme est en effet parfois utilisé de façon inconsidérée et abusive.

En conclusion

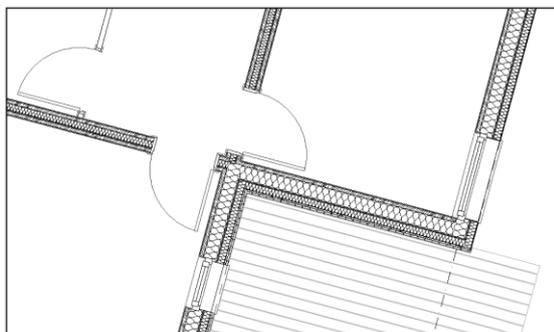
Nous pourrions reprendre la définition d'Olivier Celnik et Éric Lebègue en y ajoutant « Le BIM est une manière intégrée de travailler [sur la base d'une maquette numérique], permettant une conception, une exécution et une gestion de bâtiments et de biens immobiliers elles aussi intégrées ».

Maquette Numérique et Approche Orientée Objet

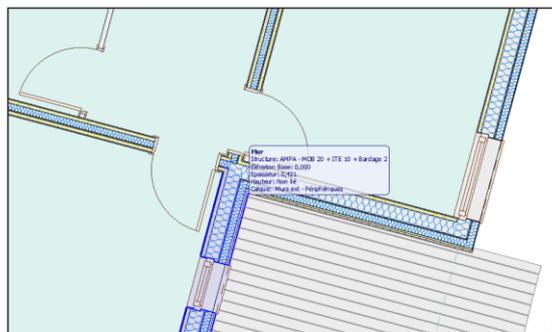
L'orienté objet

Dans un processus de conception classique, c'est l'architecte qui produit les premières représentations du projet, et donc les premiers modèles en trois dimensions également. Les trois logiciels pour l'architecture dits « BIM », (Revit, ArchiCAD et Allplan) permettent une approche orientée objet (AOO) de la modélisation. Le terme « Approche Orientée Objet » est un héritage de la « Programmation Orientée Objet » qui est définie sur Wikipedia de la manière suivante : « *La programmation orientée objet (POO), ou programmation par objet, est un paradigme de programmation informatique [qui] consiste en la définition et l'interaction de briques logicielles appelées objets ; un objet représente un concept, une idée ou toute entité du monde physique, comme une voiture, une personne ou encore une page d'un livre. Il possède une structure interne et un comportement, et il sait interagir avec ses pairs.* »

C'est la première étape informatique indispensable vers une démarche BIM, car ce type de modélisation repose sur l'existence d'objets (mur, fenêtre). Le logiciel attribue ainsi à chaque élément des propriétés, relatives à la classe à laquelle il appartient. En Approche Orientée Objet, chaque objet possède des caractéristiques qui lui sont propres et peut interagir avec d'autres objets : comme un parallélépipède qui est reconnu comme étant un mur, qui en adopte un certain nombre de propriétés et qui peut interagir d'une certaine manière avec une porte ou une fenêtre.



Modélisation 2D classique
composantes : lignes, courbes, hachures ...



Approche Orientée Objet
composantes : murs, fenêtres, portes, dalles ...

On dit alors que le modèle créé est « enrichi sémantiquement ». Le terme sémantique est défini par le Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (CNTRL) de la manière suivante : « *qui a rapport à la signification d'un mot ou d'une structure linguistique* ». Le modèle que nous manipulons est donc un modèle géométrique en trois dimensions qui est enrichi sémantiquement; cela signifie simplement que les volumes ont un nom et des attributs.

Maquette numérique

Le terme maquette numérique (ou MN) est associé à des définitions qui diffèrent légèrement les unes des autres, mais sont souvent complémentaires. Le CNRTL propose la définition pour le terme maquette : « *Modèle réduit (d'un appareil, d'un véhicule) ; reproduction à échelle réduite ou en grandeur naturelle, destinée aux études de prototypes.* ». L'adjectif numérique est utilisé en complément du mot maquette pour en décrire l'aspect impalpable et virtuel. Mais le mot maquette en lui-même comporte dans l'esprit général une connotation plus visuelle. C'est ainsi que Wikipedia définit la maquette numérique comme étant « une représentation géométrique d'un objet ou ensemble d'objets (véhicule, bâtiment...), généralement en 3D, réalisée sur ordinateur de façon à l'analyser, le contrôler et en simuler certains comportements. »⁹ : seule la dimension géométrique de la maquette est évoquée, ainsi que la raison pour laquelle elle est réalisée, c'est-à-dire la simulation et la compréhension d'un objet. Mais pour permettre cette simulation, elle doit comporter plus que de simples informations géométriques, et associer des propriétés à ces géométries.

La Maquette Numérique (MN), aussi appelée *Digital Mock-Up* ou DMU en anglais est parfois définie comme étant « une représentation numérique, centralisée et hiérarchisée de l'ensemble des productions des acteurs au cours d'un projet »¹⁰. Mais le modèle de l'architecte, qui intègre un grand nombre de données, issues d'échanges (de documents, ou d'échanges verbaux) qu'il a eus avec différents partenaires du projet comme des entreprises, n'est-il pas déjà une Maquette Numérique ?

Pour répondre à cette question, nous faisons la distinction entre trois types de maquette numériques, différenciées par le contexte et du niveau de maturité des pratiques CAO dans lesquels elle est employée.

⁹ CELNIK, Olivier, LEBÈGUE, Éric et NAGY, Guersendre. *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Paris; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 2014. ISBN 9782212138368 2212138369 9782868916136 2868916139.

¹⁰ ARTHAUD, Geoffrey. *Apports de modèles de comparaison structurelle et sémantique à la synchronisation de la maquette numérique de construction*. thèse en Mathématiques et informatique. [S. l.] : [s. n.], 2007.



Figure 7 : Trois types de maquette numérique, issu du Rapport Delcambre, p12, Bouygues construction.

- La maquette numérique isolée : c'est une notion pour laquelle on perd alors la notion de regroupement de données, et il s'agit alors d'un modèle en trois dimensions qui comporte des informations géométriques et non géométriques, mais il en existe plusieurs pour un seul projet, car chacune répond aux besoins d'un acteur en particulier.
- La maquette numérique collaborative : que l'on pourrait plutôt appeler « maquette numérique de coopération » au vu de la distinction faite précédemment. Il s'agit d'un modèle riche en informations, dans lequel ont été regroupées des données provenant de différents acteurs.
- La maquette numérique intégrée : elle est travaillée en temps réel par différents acteurs.

La Maquette Numérique est donc une représentation des informations du bâtiment. Elle peut être créée et gérée par plusieurs acteurs de la construction et contient des objets graphiques (2D ou 3D) et non graphiques, ainsi que leurs propriétés, et peut contenir d'autres informations.

La notion d'objet en informatique

Comprendre ce qu'est une maquette numérique et ce qu'elle contient, c'est comprendre ce que signifie le terme « objet » en informatique. En programmation orientée objet, on utilise ce qu'on appelle des « classes d'objets » : il s'agit d'une catégorie que l'on crée et dans laquelle on va pouvoir ranger des objets, appelés également **instances de classe**. Les instances de classe représentent des entités ou des concepts comme un mur, une porte ou même une personne. La classe déclare les **propriétés** qui caractérisent ses objets (ce sont les **attributs**) et les **comportements** qu'ils peuvent adopter, il s'agit des **méthodes**¹¹. Les méthodes régissent les comportements que les objets peuvent adopter entre eux. Les classes sont en quelque sorte des « gabarits » qui vont définir les possibilités des objets que l'on va y ranger. Un mur peut ainsi avoir pour attributs sa longueur, sa hauteur, son épaisseur, sa composition ; et peut avoir avec une porte par exemple un lien d'intégration. Il existe également des classes dites « abstraites », qui ne contiennent aucune instance, mais qui servent à structurer le

¹¹ *Les classes (Partie 1/2)* [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 1 avril 2015]. Disponible à l'adresse : <http://openclassrooms.com/courses/programmez-avec-le-langage-c/les-classes-partie-1-2>.

modèle en contenant d'autres classes.

Par exemple, les murs et les poutres peuvent être rangés dans une catégorie appelée « éléments structurels ». Cependant aucun élément ne sera « juste » un élément structurel : il s'agira soit d'un mur soit d'une poutre.

Modèles, niveau de maturité et détail d'une MN

Les informations contenues dans le modèle et le niveau de détail de celui-ci sont relatives aux besoins du projet, aux pratiques CAO des architectes/ingénieurs qui modélisent, et au niveau d'avancement du projet à un instant t. Comme vu précédemment, une modélisation peut prendre plusieurs formes, et intégrer différents niveaux de détail. Il a donc été important d'identifier et de décrire d'une part les niveaux de maturité des pratiques CAO, le niveau de détail du modèle correspondant aux différents états d'avancement du projet, ainsi que la nature des informations qui y sont intégrées (2D, 3D, sémantique...)

Les niveaux de maturité des pratiques CAO

Il existe de nombreuses définitions des niveaux de maturité des pratiques CAO, mais quelques travaux font référence en la matière : c'est le cas de l'ouvrage *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*, dont nous reprenons le tableau ci-dessous, ainsi que les travaux de Bilal Succar, qui ont tous les deux une visée synthétique.

Tableau. 1 Les différents niveaux de maturité des pratiques CAO ¹²

Niveau 0	Niveau1	Niveau 2	Niveau 3
CAO basique	CAO 2D >> 3D	BIM	iBIM
Simple création assistée par ordinateur, en 2D uniquement, contenant seulement des dessins traditionnels	La 3D est utilisée uniquement pour les besoins de la visualisation, ne contient pas d'informations supplémentaires susceptibles d'être échangées	Les modèles 2D-3D contiennent de l'information riche et interactive	Les modèles sont riches en informations et utilisables pour la gestion de la vie de l'ouvrage.

MALCURAT, Olivier. Contribution au développement d'un outil d'assistance à l'ingénierie concourante dans le domaine de l'architecture et du BTP. [S. l.] : [s. n.], 2002.

CELNİK, Olivier, LEBÈGUE, Éric et NAGY, Guersendre. BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction. Paris; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 2014, p. 70. ISBN 9782212138368 2212138369 9782868916136 2868916139.

Dans les travaux de Bilal Succar, qui a soutenu sa thèse en décembre 2013, on retrouve des définitions similaires, explicitées graphiquement et plutôt axées sur les moyens de partage des fichiers, ainsi que les finalités des outils BIM utilisés.

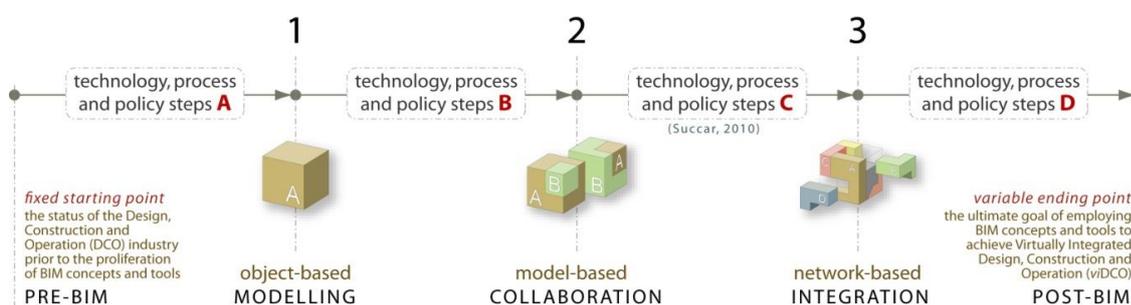


Figure 8 : Les niveaux de maturité des pratiques CAO, d'après les travaux de synthèse de Bilal Succar.

Les niveaux de développement

Tant que le projet n'est pas réalisé, nous n'avons accès qu'à ses représentations, en deux ou trois dimensions. Lorsque l'on représente un projet, de quelque manière que ce soit, nous faisons appel à deux notions : tout d'abord **le niveau de détail de la représentation** et **le niveau d'avancement du projet**.

Le niveau d'avancement du projet lui, est encadré en France par la loi MOP¹³ pour laquelle les décrets d'application¹⁴ précisent les différentes missions de l'architecte et donc également indirectement l'avancement du projet pour chacune des phases (esquisse, avant-projet sommaire, etc.).

Le niveau de détail d'une représentation 2D dépend de l'échelle du dessin, et donc bien souvent des informations que l'on souhaite y intégrer. Pour les représentations 3D, le problème est similaire : même si l'échelle n'entre pas en jeu lorsqu'il ne s'agit pas d'une maquette physique, les modèles 3D sont plus ou moins détaillés, en fonction des besoins pour lesquels la modélisation est réalisée, et de l'état d'avancement du projet.

La nécessité d'une normalisation et description des niveaux de développement d'une maquette numérique s'est donc rapidement imposée.

¹³ Loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'oeuvre privée. | Legifrance [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 15 avril 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000693683>.

¹⁴ Décret n°93-1268 du 29 novembre 1993 relatif aux missions de maîtrise d'oeuvre confiées par des maîtres d'ouvrage publics à des prestataires de droit privé | Legifrance [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 15 avril 2015]. Disponible à l'adresse : <http://legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006067890&dateTexte=20150415>.

Ce travail a été amorcé en 2013 par l'AIA (The American Institute of Architects), qui met à la disposition des architectes et de leurs clients des formulaires-contrats¹⁵ à compléter pour qu'ils s'accordent sur le niveau de détail de la maquette numérique (LOD) à livrer à chaque *Project Milestone*, c'est-à-dire à chaque phase du projet. Les caractéristiques que la maquette numérique doit avoir pour chaque LOD (*Level of Development*) y sont décrites de manière précise.

En France, une initiative de Syntec-Ingénierie et du MONITEUR qui vise à produire un équivalent français de cette notion de LOD a été publiée dans un cahier pratique¹⁶. Les caractéristiques que doit avoir une maquette numérique pour chaque niveau de développement (ND), équivalents français aux LOD, y sont décrites. Ils ont par ailleurs également associé ces différents ND aux phases de projet encadrées par la loi MOP.

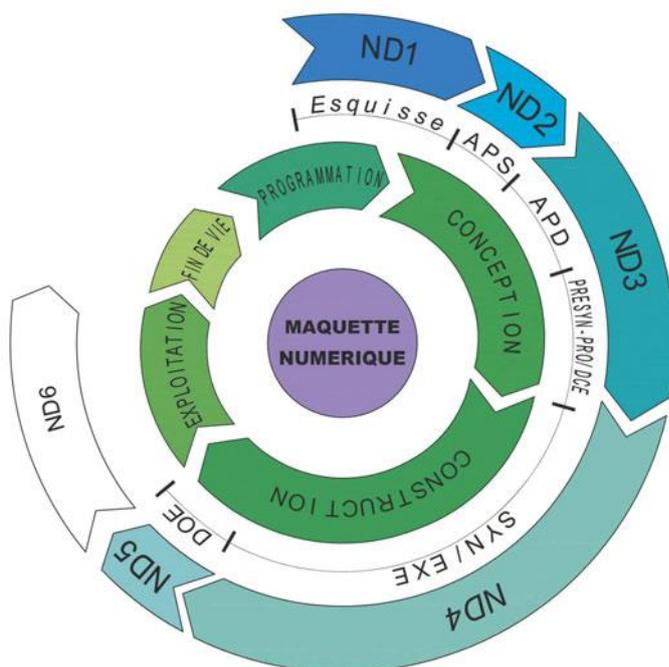


Figure 9: adéquation des ND de la maquette numérique avec les phases du projet, © Syntec-Ingénierie.

¹⁵ *Project Building Information Modeling Protocol Form*, AIA, 2013 [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 15 avril 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiab099086.pdf>.

¹⁶ 9 mai 2014 – *Le Moniteur n° 5763 – Cahier détaché n° 2* [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 15 avril 2015]. Disponible à l'adresse : http://www.syntec-ingenierie.fr/media/uploads/guides_etudes/2014_05_09_cahier_moniteur_bim.pdf.

L'interopérabilité

Dans le Petit Larousse, l'interopérabilité est définie comme étant la « capacité de matériels, de logiciels ou de protocoles différents à fonctionner ensemble et à partager des informations ». La valorisation de la maquette numérique n'est possible que si les différents logiciels de conception, simulation et gestion utilisés dans le domaine de la construction sont capables d'échanger des fichiers lisibles par les autres. L'interopérabilité des systèmes est donc une condition *sine qua non* de l'exploitation de la MN, et un des piliers fondamentaux du BIM. L'interopérabilité est également un enjeu de la coordination et de la collaboration des différents acteurs du projet entre eux.

Interopérabilité entre quels domaines, et de quelle manière ? L'interopérabilité est loin d'être un enjeu récent dans le domaine de la construction et de l'industrie, comme en témoigne le schéma qui suit :

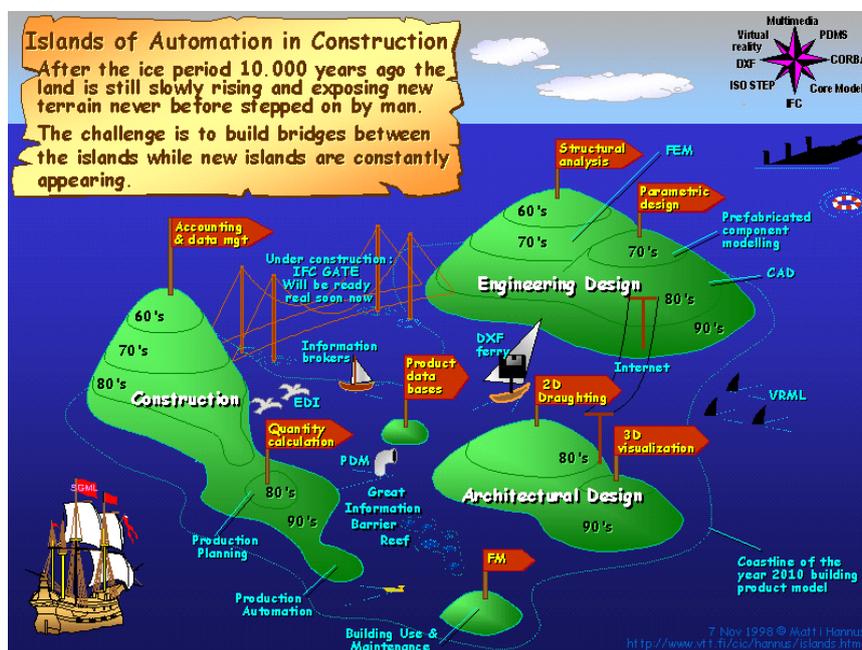


Figure 10: "Islands of automation within the Building process", d'après des travaux de Matti Hannus et Pär Sill'en, VTT, Finlande, 1987.

Matti Hannus, a produit en 1987 une première version de ce schéma « *islands of automation* » qui fut par la suite enrichi, qui a donné la version ci-dessus, au début des années 90. Le nom qu'il a donné à son document vient d'une expression utilisée dans les années 80 pour décrire l'isolement du développement différentes technologies d'automatisation dans l'industrie et leur non-compatibilité.

Ce schéma a été mis au point il y a plus de 17 ans, mais n'a en rien perdu de sa pertinence. Il s'agit d'une représentation allégorique de différents domaines scientifiques en lien avec le monde de la construction : chaque domaine est une île dont les côtes se rapprochent à mesure que les décennies passent et que l'eau descend. Certains domaines (îlots) ont fait leur apparition dans les années 90, comme « Building Use & Maintenance ». Malgré l'âge avancé de ce schéma, qui date aujourd'hui d'il y a 17 ans, les domaines cités sont aujourd'hui au cœur de la problématique de l'interopérabilité : la conception architecturale, la conception et

simulation en ingénierie, les bases de données de produits, la construction de l'ouvrage, et enfin sa gestion. Le schéma fait également deviner une ligne de cote à venir, pour les années 2010, pour laquelle tous les domaines seraient rassemblés en une seule grande île. En attendant cette « réunification », des passerelles et moyens de communication/transports sont construits.

On note la présence du format DXF (Data Exchange Format), qui fut une des premières initiatives en termes d'interopérabilité, menée par Autodesk. Mais ce format, aujourd'hui importable et exportable sur la quasi-totalité des logiciels de CAO, n'est pas basé sur une approche orientée objet et ne permet pas de conserver les informations contenues dans une maquette numérique. Par ailleurs, un pont est déjà en construction : l'*IFC gate* « qui sera prêt très bientôt ».

Le Format IFC

L'IFC (Industry Foundation Classes) est un format orienté objet, qui permet d'échanger des modèles entre différents logiciels de l'industrie du bâtiment. Il est un des supports de l'interopérabilité mise en place dans un processus dit « BIM ».

IFC : un des piliers de l'interopérabilité

L'IFC est un format orienté objet qui permet de stocker des informations géométriques et non géométriques du projet et de le partager au sein d'une équipe multidisciplinaire, qui utilise des logiciels différents. Il est basé sur une structure STEP (*STandard for the Exchange of Product model data*).

Il est ce qu'on appelle un format dit « libre » et « ouvert », par opposition aux formats « propriétaires » que sont par exemple le PLN (format natif d'ArchiCAD) ou encore le DWG, un format Autodesk. Un format libre n'appartient à aucun éditeur de logiciel, et doit avoir été approuvé par au moins une organisation internationale de standardisation¹⁷.

Depuis 2004, on retrouve même la définition de « standard ouvert » dans la loi pour la confiance dans l'économie numérique : «*On entend par standard ouvert tout protocole de communication, d'interconnexion ou d'échange et tout format de données interopérables et dont les spécifications techniques sont publiques et sans*

¹⁷ *Basic Informations - Ifc* [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 31 mars 2015]. Disponible à l'adresse : http://www.ifcwiki.org/index.php/Basic_Information.

restriction d'accès ni de mise en œuvre.»¹⁸ Le format IFC est un standard ISO¹⁹ (donc approuvé par l'Organisation Internationale de Normalisation) qui est développé par Building SMART²⁰. Anciennement IAI (International Alliance for Interoperability de 1996 à 2008), buildingSMART est une organisation internationale à but non lucratif qui met en place des dispositifs permettant l'interopérabilité.

On parle d'**OpenBIM** lorsqu'on utilise le format IFC pour échanger une maquette numérique entre différents logiciels. Mais ce n'est pas la seule option : lorsque les acteurs travaillent sur des logiciels d'une même suite (Revit pour la partie architecture, Robot pour l'analyse structurelle, Navisworks pour la simulation 4D, etc.), ils peuvent s'échanger des formats propriétaires, qui resteront lisibles uniquement au sein de cet environnement logiciel, ou par un éditeur qui a reçu une licence pour lire et exploiter ces formats : on appelle cela le **ClosedBIM**.

Il est cependant rare dans le milieu de la construction, et en dehors de l'enceinte des grands groupes, que les différents acteurs d'un projet travaillent tous sur des logiciels d'une même suite. C'est pour cette raison que le format IFC et les standards ouverts sont des piliers indispensables de l'interopérabilité.

Les informations contenues dans l'ifc

Dans cette partie, nous nous intéresserons au fonctionnement du format IFC sous différents aspects. Ce prérequis est indispensable pour bien comprendre la manière dont les échanges s'effectuent, et surtout le type d'information qui peut être contenue, ou encore la manière dont les informations sont stockées.

La dimension sémantique du format repose sur une série de termes, définitions « universelles ». Il s'agit d'une des bases de l'interopérabilité : il faut parler le même langage. Les IFD (International Framework Dictionaries), sont un standard ouvert développé par BuildingSMART. Il s'agit de la base sur laquelle repose le format IFC.

En informatique, ce type de dictionnaire, qui non seulement définit différents concepts, mais également leur lien s'appelle une ontologie informatique. Une ontologie est « *un réseau sémantique qui regroupe un ensemble de*

¹⁸ *Loi n° 2004-575 du 21 juin 2004 pour la confiance dans l'économie numérique* | Legifrance [en ligne]. [s. d.].

[Consulté le 31 mars 2015]. Disponible à l'adresse :

<http://legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000801164&dateTexte=&categorieLien=id>.

¹⁹ *ISO 16739:2013 - Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries* [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 31 mars 2015]. Disponible à l'adresse :

http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=51622.

²⁰ *History* | buildingSMART [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 31 mars 2015]. Disponible à l'adresse :

<http://www.buildingsmart.org/about/about-buildingsmart/history-2/>.

concepts décrivant complètement un domaine. Ces concepts sont liés les uns aux autres par des relations taxinomiques (hiérarchisation des concepts) d'une part, et sémantiques d'autre part. L'objectif premier d'une ontologie est de modéliser un ensemble de connaissances dans un domaine donné, qui peut être réel ou imaginaire. »²¹

Les IFD servent donc à décrire les ontologies manipulées lors de la modélisation orientée objet d'un projet, et sont la base sur laquelle s'appuie le format IFC. BuildingSMART met par ailleurs en ligne le détail de toutes les versions du format IFC, cela comprend les relations taxinomiques ainsi que les définitions de chacune des entités utilisées dans le langage,²² leur spécification en EXPRESS, ainsi que leur représentation graphique en EXPRESS-G. Ci-après, un exemple de représentation EXPRESS-G que l'on trouve sur le site de BuildingSMART-tech, concernant la classe *ifcperson*.

²¹ CAMPEDEL OUDOT, Marine et HOOGSTOËL, Pierre. *Sémantique et multimodalité en analyse de l'information*. Paris : Hermès science publ. : Lavoisier, 2011. ISBN 9782746231399 2746231395.

²² *Start Page of IFC2x3 Final Documentation* [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 31 mars 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/index.htm>.

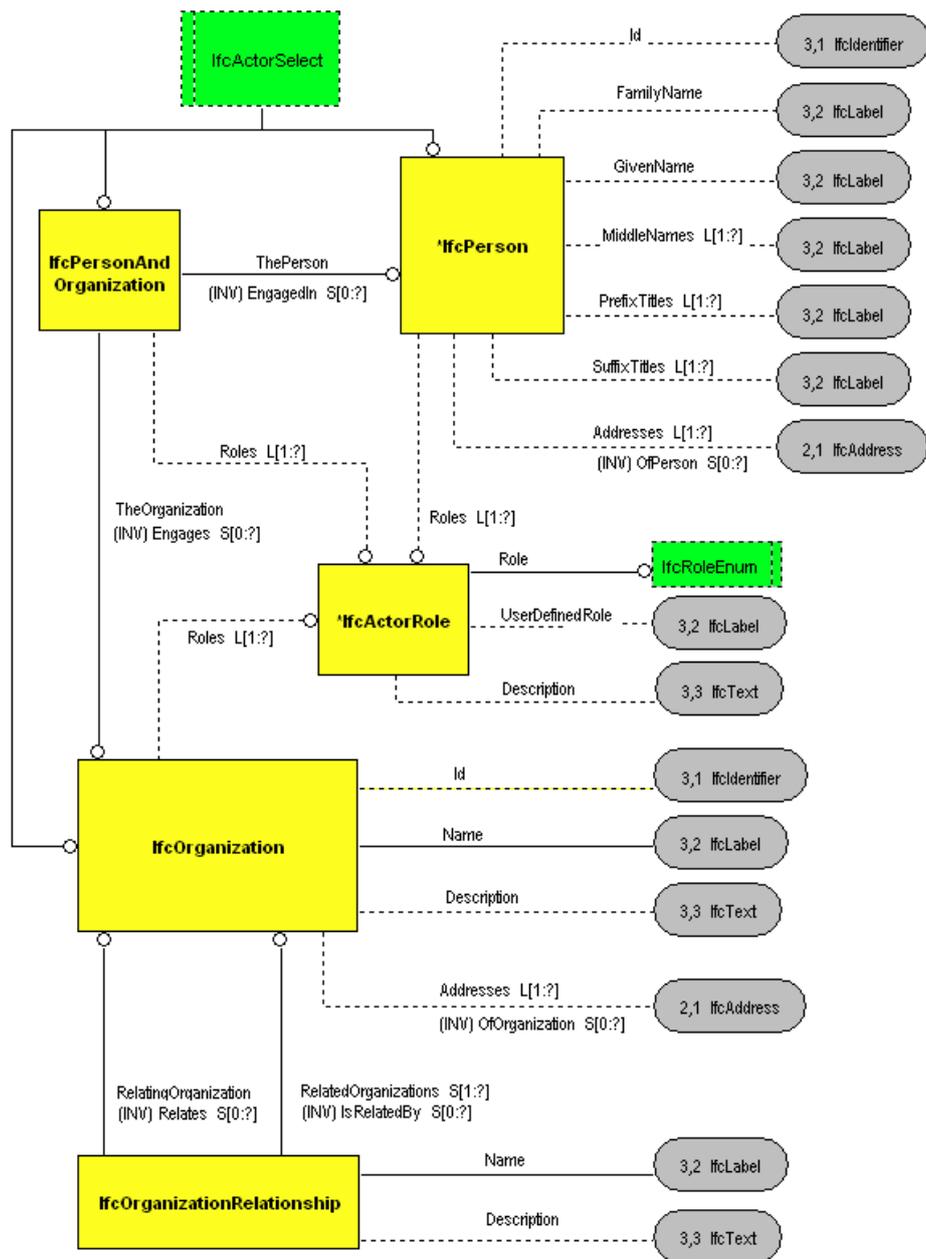


Figure 11 : Représentation en EXPRESS-G du contexte de la classe ifcactor²³

²³ Start Page of IFC2x3 Final Documentation [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 31 mars 2015]. Disponible à l'adresse :

```

ENTITY IfcPerson;
  Id                : OPTIONAL IfcIdentifier;
  FamilyName       : OPTIONAL IfcLabel;
  GivenName        : OPTIONAL IfcLabel;
  MiddleNames      : OPTIONAL LIST [1:?] OF IfcLabel;
  PrefixTitles     : OPTIONAL LIST [1:?] OF IfcLabel;
  SuffixTitles     : OPTIONAL LIST [1:?] OF IfcLabel;
  Roles            : OPTIONAL LIST [1:?] OF IfcActorRole;
  Addresses        : OPTIONAL LIST [1:?] OF IfcAddress;
INVERSE
  EngagedIn        : SET OF IfcPersonAndOrganization FOR ThePerson;
WHERE
  WR1              : EXISTS(FamilyName) OR EXISTS(GivenName);
END_ENTITY;

```

Figure 12: Spécification EXPRESS de l'entité IfcPerson²⁴

Ces codes EXPRESS sont accompagnés d'une définition des instances de cette classe, ainsi que de chacun des attributs qui peuvent leur être assignés.

IfcPerson

Definition from ISO/CD 10303-41:1992: An individual human being.

Figure 13 : Description des instances comprises dans la classe IfcPerson

<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/index.htm>.

²⁴ *Ibid.*

Attribute definitions:	
Id	: Identification of the person.
FamilyName	: The name by which the family identity of the person may be recognized. NOTE: Depending on geographical location and culture, family name may appear either as the first or last component of a name.
GivenName	: The name by which a person is known within a family and by which he or she may be familiarly recognized. NOTE: Depending on geographical location and culture, given name may appear either as the first or last component of a name.
MiddleNames	: Additional names given to a person that enable their identification apart from others who may have the same or similar family and given names. NOTE: Middle names are not normally used in familiar communication but may be asserted to provide additional identification of a particular person if necessary. They may be particularly useful in situations where the person concerned has a family name that occurs commonly in the geographical region.
PrefixTitles	: The word, or group of words, which specify the person's social and/or professional standing and appear before his/her names.
SuffixTitles	: The word, or group of words, which specify the person's social and/or professional standing and appear after his/her names.
Roles	: Roles played by the person.
Addresses	: Postal and telecommunication addresses of a person. NOTE - A person may have several addresses.
EngagedIn	: The inverse relationship to IfcPersonAndOrganization relationships in which IfcPerson is engaged.

Figure 14 : définitions des attributs de la classe IfcPerson

Il existe dans le format IFC quatre catégories d'éléments :

- Les **Defined Types** sont des **données définies** qui renvoient à des **données de base** (*simple data Types*) qui ne peuvent être subdivisées²⁵. La Classe « IfcAreaMeasure » par exemple est une donnée basique définie, en m², et sa traduction informatique sera un nombre réel.

IfcAreaMeasure
Definition from ISO/CD 10303-41:1992: An area measure is the value of the extent of a surface.
Usually measured in square metre (m2).
Type: REAL
NOTE Corresponding STEP name: area_measure, please refer to ISO/IS 10303-41:1994 for the final definition of the formal standard.
HISTORY New type in IFC Release 1.5.1.
EXPRESS specification:
<code>TYPE IfcAreaMeasure = REAL;</code>
<code>END_TYPE;</code>

- Les **Entities** sont des **classes** qui sont définies par des attributs, et qui correspondent généralement à des entités de construction (IfcWall), des types d'entités de construction (IfcWallType), géométriques (IfcCurve), des personnes physiques ou morales (IfcActor), ou beaucoup plus abstraites (IfcRoot).

²⁵ *Data Modelling Using EXPRESS-G for IFC Development - EXP-G - Guide STANFORD.pdf* [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 1 avril 2015]. Disponible à l'adresse : http://plm.ecp.fr/ap242_documents/EXP-G%20-%20Guide%20STANFORD.pdf.

- Les **Enumerations** renvoient vers une série de « valeurs » qui pourront servir à décrire l'attribut. Il s'agit d'options ou de choix prédéfinis. **Exemple** : IfcWallTypeEnum, IfcAddressTypeEnum... etc

IfcAddressTypeEnum

Definition from IAI: Identifies the logical location of the address.

HISTORY New type in IFC Release 2x.

ENUMERATION

- **OFFICE** An office address.
- **SITE** A site address.
- **HOME** A home address.
- **DISTRIBUTIONPOINT** A postal distribution point address.
- **USERDEFINED** A user defined address type to be provided.

- Les **Select Types** sont des **classes virtuelles** qui permettent la redirection vers d'autres classes. Il s'agit d'une sélection, d'un choix. **Exemple** : La spécification Express ci-dessus d'IfcActorSelect signifie qu'un acteur peut être soit une personne, soit une organisation, soit un acteur et une organisation.

IfcActorSelect

Definition from IAI: The actor select type allows a person and/or organization to be referenced.

NOTE Corresponding STEP name: person_organization_select, please refer to ISO/IS 10303-41:1994 for the final definition of the formal standard.

HISTORY New entity in IFC Release 1.5.1

SELECT

- **IfcOrganization** An organization.
- **IfcPerson** A person.
- **IfcPersonAndOrganization** A person related to an organization.

EXPRESS specification:

```
TYPE IfcActorSelect = SELECT
  (IfcOrganization,
   IfcPerson,
   IfcPersonAndOrganization);
END_TYPE;
```

Formats d'échange : les variantes et alternatives à l'IFC.

Le format IFC est le format de référence du BIM, mais quelques variantes de ce format se sont développées. Dans certains cas où les échanges en IFC ne sont pas possibles, ils peuvent être une alternative provisoire intéressante. Voici une liste non exhaustive de ces formats alternatifs.

ifcXML, ifcZIP

Encore appelé ifcXML simplifié, ce format de fichier dérivé de l'IFC est issu de travaux financés par le National Office of Building Technology and Administration of Norway, dans le but de permettre aux petits éditeurs de logiciels de développer des interactions avec l'IFC²⁶. En effet, les délais pour le développement d'un d'import ou export IFC sont souvent importants et donc trop coûteux pour les petits éditeurs, qui ont préféré développer des

²⁶ *MEDI@CONSTRUCT, eXpertise, la newsletter du BIM n°37, Avril 2011* [en ligne]. [s. d.].

[Consulté le 16 avril 2015]. Disponible à l'adresse : http://www.untec.com/untec/pdf/12881_eXpertise37.pdf.

formats d'échange internes. Le format IFC est en effet complexe et très complet, donc difficile à gérer.

Pour permettre aux petits éditeurs de développer des interactions avec l'IFC, il a fallu utiliser un format d'échange déjà maîtrisé par l'ensemble des éditeurs, comme le XML. Les technologies XML (Extensible Markup Language) sont très flexibles et donc très couramment utilisées. L'ifcXML est basé sur le standard ifc, en utilisant la technologie XML.

L'**ifcXML** est conçu pour permettre l'export ou l'import de la totalité des données qui peuvent être contenues en IFC. Il existe par ailleurs différents schémas d'ifcXML simplifiés, spécifiques aux cas d'échanges pour lesquels ils sont utilisés, comme le calcul thermique ou le quantitatif par exemple. L'ifcXML est en revanche en moyenne deux à trois fois plus lourd que l'IFC, mais une version compressée existe : l'**ifcZIP**.

Dans le journal eXpertise d'avril 2011, Frédéric Grand, coordinateur technique adjoint de BuildingSMART France évoque l'idée de pouvoir certifier les petits éditeurs en import ou export ifcXML, mais cela n'a été mis en place pour l'instant que pour l'IFC.

Des alternatives spécifiques

Le Green Building XML schema (gbXML) est une des alternatives à l'IFC qui sont utilisées. Le format a été développé par Green Building Studio, puis racheté par Autodesk. Il est principalement utilisé pour transférer des données du modèle architecte vers des logiciels de simulation environnementale²⁷. DiaLUX par exemple, qui est un logiciel de simulations lumière, n'intègre pas encore les imports IFC, mais est capable d'importer des fichiers gbXML.

Le City Geography Markup Language (CityGML) est un standard issu d'une initiative allemande pour créer des modèles urbains en trois dimensions et sémantiquement enrichis. Il fait partie des formats qui se basent sur un schéma XML. Il existe également un format spécifique pour les ouvrages de génie civil : il s'agit du LandXML.

Le BIM Collaboration Format (BCF) est un format au départ développé par BuildingSMART, qui permet aux acteurs du projet d'échanger des parties de fichier ifc pour reporter des bugs ou problèmes. Le fichier est en fait un ifc partiel du projet, qui est enrichi de messages liés à des points de vue sur le modèle. Le BCF est aujourd'hui un standard BuildingSMART et est lisible sur les viewers comme Solibri et Tekla BIMSight.

Des vraies alternatives à l'IFC ?

L'IFC reste dans tous les cas le principal format pilier de l'interopérabilité, et un standard international. Les

²⁷ *About gbXML - Green Building XML Schema* [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 16 avril 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.gbxml.org/aboutgbxml.php>.

alternatives comme l'ifcXML peuvent toutefois être intéressantes dans le cas où l'IFC classique n'est pas traité par les logiciels utilisés, alors que d'autres formats sont très spécifiques à certains domaines comme le CityGML. Le format BCF permet quant à lui d'intégrer une dimension collaborative plus poussée, mais ne contient pas toutes les informations du fichier IFC.

Aujourd'hui, le BIM intéresse mais on s'interroge

Des enjeux et acteurs multiples

Les bénéfices, inconvénients, et enjeux du BIM.

Les bénéfices présumés du BIM sont nombreux et largement communiqués, mais nous avons aujourd'hui accès à des études qui permettent d'avoir des retours et un premier recul sur les impacts de ces nouvelles pratiques^{28 29 30}.

- Ces études ont permis de mettre en évidence le caractère **indispensable** d'une très importante **restructuration organisationnelle** : cela concerne autant les processus de conception, que l'utilisation des logiciels. Elles insistent sur l'importance de la formation et de l'acquisition d'expérience.
- Des **problèmes d'interopérabilité** sont aujourd'hui un des principaux freins au développement et à la bonne exécution de ces nouveaux processus de travail.
- Elles ont par ailleurs mis en évidence une **amélioration de l'efficacité**, notamment par une **diminution de la récurrence des travaux** (pas de resaisie).
- Sur l'aspect collaboratif, elles permettent de montrer que le BIM **améliore la coordination des équipes**, mais cela **nécessite un important travail de préparation** en amont.
- Les participants de l'étude faite par [ARANDA, CRAWFORD, CHEVEZ, 2008] ont indiqué qu'ils considéraient **que l'investissement fait l'utilité du BIM ne compensait pas forcément l'investissement**

²⁸ AZHAR, Salman. Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering* [en ligne]. 2011. [Consulté le 15 juillet 2015]. Disponible à l'adresse : [http://ascelibrary.org/doi/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](http://ascelibrary.org/doi/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127).

²⁹ ARANDA-MENA, Guillermo, CRAWFORD, John, CHEVEZ, Agustin, et al. Building information modelling demystified: does it make business sense to adopt BIM? *International Journal of Managing Projects in Business*. 2009, Vol. 2, n° 3, p. 419–434.

³⁰ SCHEVERS, Hans, MITCHELL, John, AKHURST, Paul, et al. Towards digital facility modelling for Sydney opera house using IFC and semantic web technology. *ITcon*. 2007, Vol. 12, p. 347–362.

financier qu'il nécessitait.

- Les participants ont indiqué que le BIM permet de **diminuer les risques dans le projet** et est une **technologie suffisamment mature**.
- Il a été confirmé également que le BIM modifie la distribution des efforts durant le temps de la conception.

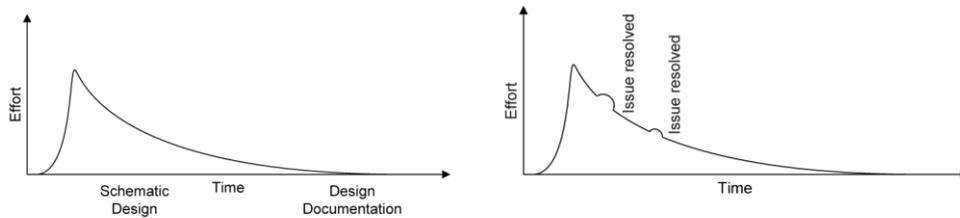


Figure 15 : Répartition temps-effort dans un processus BIM. [SCHEVERS, MITCHELL, AKHURST, 2007]

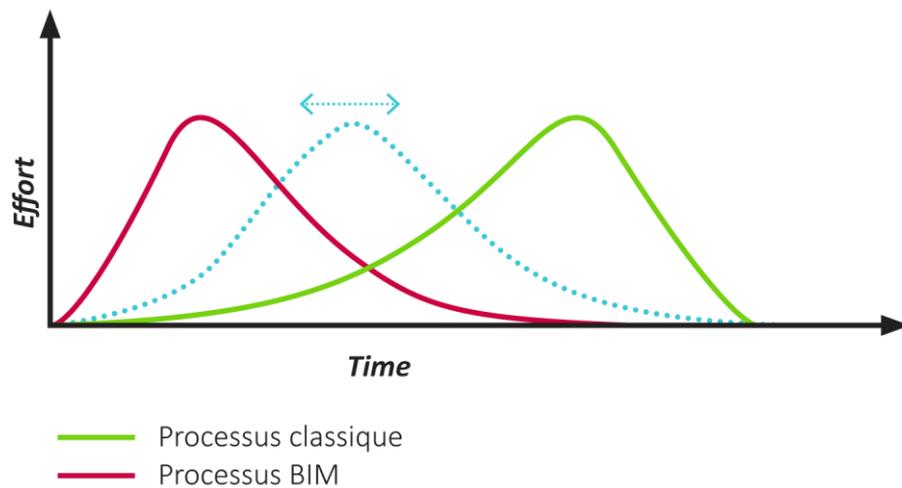


Figure 16 "Time-effort distribution curves: qualitative analysis", d'après [SCHEVERS, MITCHELL, AKHURST, 2007]

Un intérêt croissant pour le BIM

Quelques rappels historiques

Après l'important développement qu'a connu le milieu de l'informatique dans les années 60-70-80, on a vu apparaître des solutions logicielles d'ingénierie, d'architecture et de traitement d'images. On peut notamment citer le logiciel CATIA, dédié à l'industrie aéronautique, développé par Dassault Systèmes en 1981, qui fut l'objet d'un développement ultérieur (la V5 de CATIA) par Gehry Technologies qui a permis d'intégrer une interface

dédiée à la conception architecturale³¹. Ces solutions logicielles ont donc tout d'abord été développées en parallèle, séparément. Puis, en 1996 a été créée l'organisation IAI (*International Alliance for Interoperability*), qui a commencé à développer le format IFC puis a été renommée en 2008 « BuildingSMART ». Aujourd'hui, une grande partie des mises à jour des logiciels d'architecture et d'ingénierie concernent la compatibilité au format IFC et donc l'interopérabilité des systèmes.

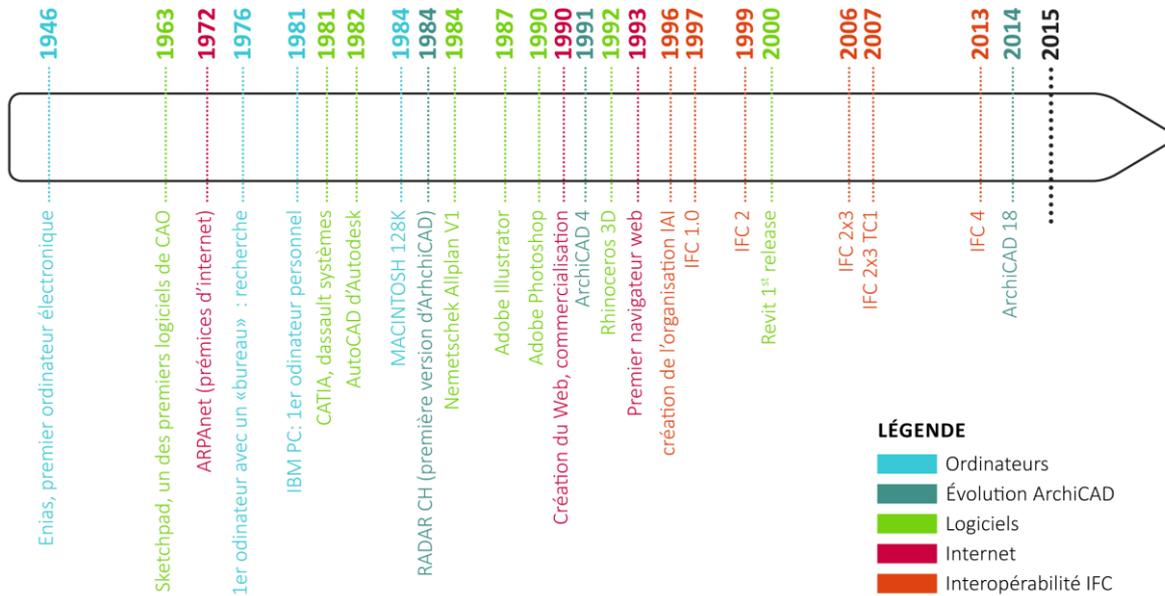


Figure 17 : Frise chronologique non exhaustive des avancées informatiques et des logiciels de CAO et de traitement d'images

Des initiatives voient le jour aujourd'hui : retour sur les expériences menées par quelques pays.

Au vu de l'arrivée prochaine à maturation de ces technologies, ainsi que des bénéfices potentiels que pourraient permettre ces outils (notamment pour le gestionnaire de patrimoine qu'est l'État), des gouvernements à travers le monde ont mis en place des initiatives incitant ou facilitant l'exploitation de la maquette numérique. Les grandes entreprises privées de la construction mènent également une politique de recherche et développement sur le BIM, dans le monde entier.

En matière de politique gouvernementale, on peut citer le cas de l'Angleterre³², où, à partir du 1er

³¹ Gehry Technologies, Digital Project [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 20 juillet 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.gehrytechnologies.com/en/products/>.

³² BIM Task Group | A UK Government Initiative [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 24 avril 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.bimtaskgroup.org/>.

janvier 2016, les architectes qui souhaitent accéder à la commande publique devront ajouter aux livrables habituels un format COBie du projet : cela se présente sous la forme de tableau extrait de la maquette numérique, qui contient certaines informations de l'ouvrage utiles à sa gestion.

La Finlande fait également figure de pionnière dans le domaine, avec son programme de recherche «PRE» (Construction Environnement Processus de Re-Engineering), réalisé entre 2010 et 2014, qui a impliqué trente-sept entreprises de la construction, et six instituts de recherche à la pointe dans le domaine. Le programme consistait à évaluer les impacts (économiques, organisationnels, etc..) de l'utilisation du BIM, sur la base de six grandes thématiques. Cette étude a donné lieu à environ quatre-vingts publications, dont les résultats sont regroupés dans le Rapport PRE³³.

D'autres initiatives existent, comme par exemple aux Pays-Bas, en Norvège, au Danemark, en Corée du Sud ... etc.

En France, Cécile Duflot, alors ministre de l'égalité des territoires et du logement, a annoncé lors d'un entretien paru dans le Moniteur du 18 mars 2014 que le gouvernement français allait « progressivement rendre obligatoire la maquette numérique dans les marchés publics d'État en 2017 ». Ce fut une claque pour la profession, qui n'est aujourd'hui pas prête à endurer une telle obligation et à changer ses habitudes aussi radicalement aussi rapidement. Mais cette déclaration, bien que plus tout à fait à l'ordre du jour, a lancé les débats en France : en juin dernier, Sylvia PINEL, ministre du logement, de l'égalité des territoires et de la Ruralité a confié à Bertrand DELCAMBRE (président du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) la mission d'élaborer une feuille de route opérationnelle sur le numérique appliqué au bâtiment³⁴. En décembre dernier (décembre 2014) était publié le rapport « Mission Numérique Bâtiment », dans lequel les bénéfices (notamment économiques) du BIM sont évalués dans différents domaines et pour différents acteurs (maître d'ouvrage, les régions, les industriels, les banques, les promoteurs ...). Après l'évocation d'un certain nombre de faits, Bertrand DELCAMBRE y définit les axes d'un plan d'action qu'il qualifie d'ambitieux pour l'État :

- **Axe 1** : Convaincre et donner envie à tous les acteurs et notamment au maître d'ouvrage
- **Axe 2** : Répondre aux besoins d'équipement et de montée en compétences numériques des acteurs
- **Axe 3** : Développer des outils adaptés à la taille des projets
- **Axe 4** : Installer la confiance dans l'Ecosystème Numérique Français.

³³ *PRE-Results-Report.pdf* [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 20 juillet 2015]. Disponible à l'adresse : <http://rymreport.com/pre/wp-content/uploads/2014/09/PRE-Results-Report.pdf>.

³⁴ DELCAMBRE, Bertrand. *Rapport Mission Numérique Bâtiment*. [S. l.] : [s. n.], décembre 2014.

L'État français marque donc son intention d'amener le secteur de la construction vers le BIM. On commence d'ailleurs à voir apparaître des initiatives régionales isolées en France notamment en Bourgogne, qui commence à inclure dans ses appels d'offre un critère IFC, comme pour le lycée Jean-Marc Boivin à Chevigny Saint-Sauveur.

Les marques d'un intérêt croissant

Le nombre d'événements autour du BIM s'est multiplié ces dernières années, et particulièrement ces derniers mois. On voit apparaître des forums, conférences ouvertes au public et remises de prix sur le thème du BIM. Prenons pour exemple le « BIM World » dont la première édition a eu lieu à Paris en mars 2015, le « BIMBANG event » organisé par Astus construction à Lyon au début du mois de mars de cette année également, ou encore la première cérémonie des BIM d'Or qui ont eu lieu en septembre dernier, qui récompense les équipes qui ont mené à bien un projet en utilisant des méthodes BIM. Le BIM intrigue et interroge la profession, qui souhaite aujourd'hui s'informer / se former. Une communauté francophone s'est par ailleurs formée autour d'un site internet : hexabim, site qui publie des messages d'informations et permet aux membres inscrits d'échanger autour des thèmes du BIM. La communauté est très présente et réactive.

Voici autant d'éléments qui nous permettent de conclure que le BIM intéresse et interroge.

Mais les obstacles sont nombreux

Des difficultés et verrous multiples

Le rapport entre les Hommes et les machines et utilisation de l'outil informatique

- L'outil informatique pâtit dans certains cas d'une mauvaise image : certains y voient une perte de contrôle du projet et du savoir-faire de leur profession.
- L'outil informatique est souvent mal utilisé. Depuis les premiers ordinateurs personnels, l'ordinateur a connu un développement exponentiel et la plupart des professions ont dû s'y adapter très rapidement. Il y a donc un décalage important entre les pratiques acquises lors de la formation et des réalités du métier aujourd'hui. Beaucoup ont appris « sur le tas », ou lors de formation rapides.
- L'utilité, les bénéfices ou la nécessité de l'utilisation de l'outil informatique ne sont pas une évidence pour tous.
- Il existe un risque d'exclusion de certains professionnels lorsqu'ils ne s'alignent pas sur les outils qu'utilisent les autres : l'outil, qui souvent devient obligatoire, peut alors être subi et très mal perçu.
- Beaucoup d'agences aujourd'hui ne sont pas prêtes à recevoir ce type d'outil, en raison de leur structure et leurs méthodes de travail spécifiques.
- L'architecture est un domaine à la fois technique et artistique. L'activité de conception est une activité artistique, qui ne peut être formatée par des « standards internationaux ». Les outils proposés doivent être aussi souples que possible pour pouvoir être accueillis et ne pas être un frein à la créativité.

Les problèmes d'ordre informatique

En 2002, Olivier MALCURAT énumérait les faiblesses des solutions logicielles concernant le développement de

certaines pratiques. Il évoquait la faiblesse sémantique des formats, la multiplication des formats propriétaires, la mauvaise conversion des formats entre eux, la lenteur des modems et le prix de la connexion à la durée. Aujourd'hui, le réseau Internet s'est développé, les forfaits illimités en temps sont devenus la norme, et le format IFC, standard en termes d'interopérabilité et de conservation de la composante sémantique des modèles, s'est largement imposé. Certains problèmes d'ordre informatique restent toutefois encore à résoudre :

- La compatibilité des solutions logicielles avec l'IFC se développe, et la plupart des mises à jour des logiciels utilisés dans le milieu du bâtiment concernent cette compatibilité. Elle n'est cependant toujours pas optimale, même lorsque les logiciels sont certifiés en import ou en export. Les géométries et informations sont parfois affectées, mal exportées ou mal importées. Ce verrou tend par ailleurs à disparaître, car les éditeurs développent aujourd'hui de manière intensive les imports et exports.
- Le débit de connexion est illimité, et les fichiers contiennent de plus en plus d'informations, et sont de plus en plus volumineux. Aujourd'hui, des plateformes collaboratives et des collecticiels se développent : les fichiers peuvent être hébergés sur un serveur externe ou sur le cloud, et ne sont transférées que les modifications, ce qui allège considérablement le volume des échanges. Cette option est cependant loin d'être généralisée.
- Les échanges se développent, mais la question de la sécurité et confidentialité de ceux-ci est très rarement abordée. Il s'agit pourtant d'un point important, notamment en situation de concours, ou lorsqu'on souhaite protéger les données relatives aux prix des produits utilisés qui peuvent être intégrés dans les fichiers échangés.
- Si la maquette numérique est un outil, elle nécessite un matériel informatique adéquat, et bien souvent assez récent. Les logiciels capables de gérer une maquette numérique nécessitent des ressources importantes, que l'on ne retrouve généralement que sur un matériel informatique récent. Il s'agit d'un investissement non négligeable pour les utilisateurs.

Les questions liées au changement et à la nouveauté

- L'arrivée et l'utilisation de nouveaux outils creusent le fossé entre les professionnels qui ont intégré l'outil informatique progressivement, et ceux qui ne l'ont pas fait.
- La création et la gestion d'une maquette numérique partagée représente une tâche nouvelle, et donc également des responsabilités nouvelles, qui restent à définir. De la même manière, certains évoquent, à juste titre, la question de la rémunération qu'impliquent ces nouvelles responsabilités. On voit également de nouvelles professions apparaître, comme le manager BIM, et coordinateur BIM.
- Les nouvelles tâches représentent des compétences à acquérir. D'où la question centrale de la formation, pour outiller les nouvelles professions et celles qui sont en train de s'adapter. Cette étape constitue, dans un premier temps, une perte de temps préjudiciable pour les professionnels, même si le

gain de temps généré une fois que le changement est intégré devrait permettre de compenser cela³⁵.

- L'intégration du changement ne peut se faire sans le passage par une étape d'apprentissage.
- Les nouveautés évoquées (recours à la maquette numérique, interopérabilité des systèmes, utilisation de collecticiels, etc.) modifient assez profondément les pratiques de collaboration. De nouvelles méthodes pour réapprendre à collaborer sont à inventer, expérimenter et appliquer.
- Changements dans le processus de projet : le processus BIM demande beaucoup d'investissement dans les toutes premières phases de projet, et beaucoup moins ensuite. Or les rémunérations ne sont pas encore adaptées à cela.

Un contexte économique difficile

- Les changements nécessitent un temps d'adaptation, de formation (investissement en temps et en argent) que les professionnels, aujourd'hui en situation de difficulté, ne sont pas en mesure de fournir.
- Les logiciels et le matériel informatique adéquats pour faire face aux innovations technologiques sont coûteux.

Conclusion

Les possibilités des outils « BIM » sont multiples, mais de nombreux verrous subsistent : c'est ce que la partie expérimentale de notre travail va confirmer (voir p.55, Expérimentation et développement des échanges).

Nous avons donc défini les notions et concepts que nous allons manipuler au long de notre expérience : cette partie nous a permis d'approfondir nos connaissances du sujet à la fois sur le plan technique et théorique. Cela nous a permis d'identifier les spécificités du travail collaboratif en situation de conception, ainsi que les questions soulevées par l'utilisation de la maquette numérique.

On note, en particulier dans le cadre de notre expérimentation, l'importance de la corrélation entre les phases d'avancement du projet et le niveau de développement de la maquette numérique, ainsi que le type d'informations que l'on peut intégrer dans un fichier écrit au format IFC, et les questions liées à l'interopérabilité des systèmes.

³⁵ YAN, Han et DAMIAN, Peter. Benefits and barriers of building information modelling. Dans : *12th International conference on computing in civil and building engineering*. Vol. 161 [en ligne]. 2008. [Consulté le 15 juillet 2015].

Disponible à l'adresse :

http://homepages.lboro.ac.uk/~cvpd2/PDFs/294_Benefits%20and%20Barriers%20of%20Building%20Information%20Modelling.pdf.

II. Etat de l'art : outiller la démarche

Notre travail porte sur la mise en place d'un processus de travail. Ainsi, nous allons nous intéresser dans un premier temps aux outils développés qui pourraient répondre à une situation de mise en place de processus d'échanges. Nous nous baserons sur la méthode de l'université de Pennsylvanie, qui est une référence en la matière. Nous identifierons ses points forts et ses carences, pour ensuite proposer des axes de recherche susceptibles de l'enrichir ou de l'adapter à notre type de situation.

Méthode développée par l'Université de Pennsylvanie

Le P.E.P.G. : un projet ambitieux.

Le *Project Execution Planning Guide* est un projet de BuildingSMART alliance, réalisé dans le cadre du Computer Integrated Construction Research Program, par l'Université de l'état de Pennsylvanie (Pennstate University). Ce guide fournit une méthode structurée pour créer et exécuter un « plan d'exécution du projet BIM »³⁶. Le processus établi comporte quatre phases :

PHASE 1 : identifier objectifs et les potentielles utilisations BIM

PHASE 2 : Créer un processus d'exécution adapté

PHASE 3 : Pour chaque échange faisant partie du processus d'exécution, définir le type d'informations/de fichiers à échanger.

PHASE 4 : Définir les conditions requises pour que le processus décrit puisse être mis en place.

³⁶ COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM. *BIM Project Execution Planning Guide – Version 2.0*. University Park, PA, USA : The Pennsylvania State University, juillet 2010.

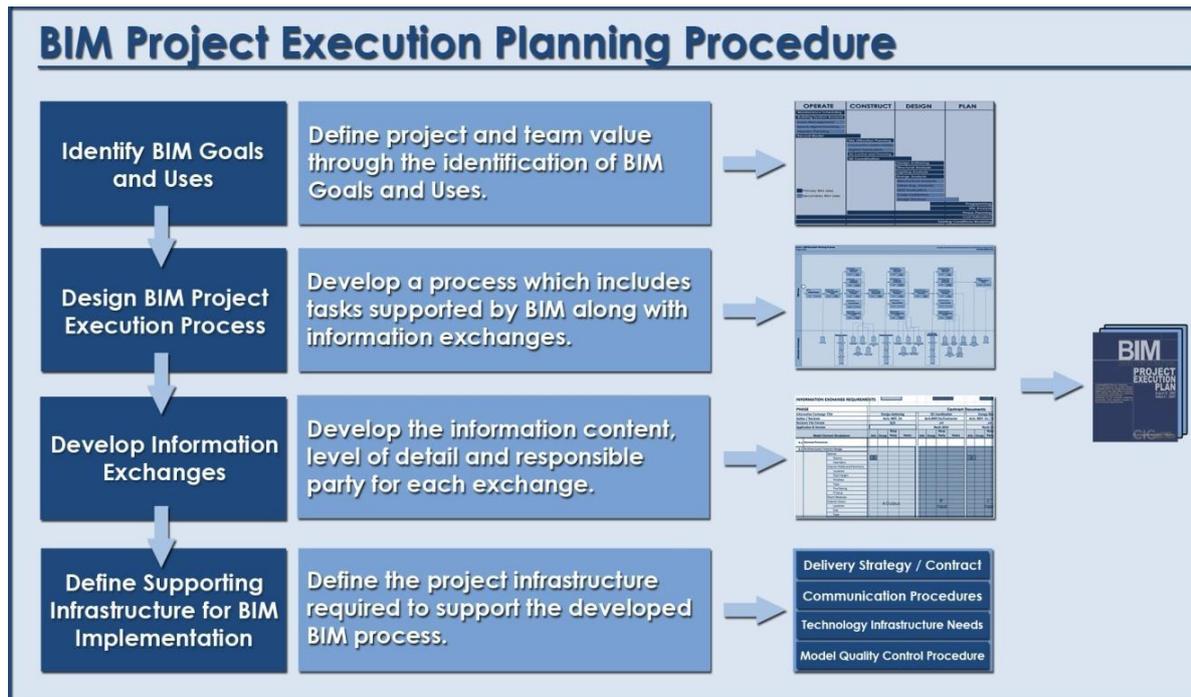


Figure 18 : Méthode générale définie dans le guide

Nous allons détailler les différents chapitres abordés dans ce guide, cela constituera notre base de travail pour la création d'une nouvelle méthode.

Les quatre phases de la méthode

PHASE 1 : identifier objectifs et les potentielles utilisations BIM

Cette partie d'identification se décompose en cinq étapes :

1. Identifier les utilisations BIM potentielles
2. Identifier la ou les personnes responsables de chaque utilisation BIM potentielle
3. Evaluer les ressources, compétences et expérience des personnes responsables
4. Identifier les risques potentiels relatifs à chaque utilisation BIM envisagée
5. Définir si oui ou non une utilisation BIM potentielle va être développée.

Pour ces étapes, le guide fournit des tableaux types, et des tableaux exemples que voici :

Priority (1-3)	Goal Description	Potential BIM Uses
1 - Most Important	Value added objectives	
2	Increase Field Productivity	Design Reviews, 3D Coordination
3	Increase effectiveness of Design	Design Authoring, Design Reviews, 3D Coordination
1	Accurate 3D Record Model for FM Team	Record Model, 3D Coordination
1	Increase effectiveness of Sustainable Goals	Engineering Analysis, LEED Evaluation
2	Track progress during construction	4D Modeling
3	Identify concerns associated with phasing on campus	4D Modeling
1	Review Design progress	Design Reviews
1	Quickly Asses cost associated with design changes	Cost Estimation
2	Eliminate field conflicts	3D Coordination

Figure 19 : Tableau d'identification des potentielles utilisations BIM

BIM Use*	Value to Project	Responsible Party	Value to Resp Party	Capability Rating			Additional Resources / Competencies Required to Implement	Notes	Proceed with Use
	High / Med / Low		High / Med / Low	Scale 1-3 (1= Low)					YES / NO / MAYBE
				Resources	Competency	Experience			
Record Modeling	HIGH	Contractor	MED	2	2	2	Requires training and software		YES
		Facility Manager	HIGH	1	2	1	Requires training and software		
		Designer	MED	3	3	3			
Cost Estimation	MED	Contractor	HIGH	2	1	1			NO
4D Modeling	HIGH	Contractor	HIGH	3	2	2	Need training on latest software	High value to owner due to phasing complications	YES
							Infrastructure needs	Use for Phasing & Construction	

Figure 20 : Tableau de l'évaluation de l'utilité et la faisabilité des différentes utilisations BIM pour le projet exemple du guide

PHASE 2 : Création d'un « processus d'exécution BIM »

1. Replacer les différentes utilisations BIM sélectionnées dans le processus général de projet, identifier l'équipe responsable de chacune des utilisations, et créer une représentation du processus dans son ensemble. (*overview map*, fig 21)
2. Décomposer hiérarchiquement les différentes utilisations BIM en une série de tâches, et identifier la personne/ l'organisation la plus à même de réaliser chacune d'entre elle.
3. Définir les liens de dépendances entre les différentes tâches.
4. Identifier les différentes informations/données nécessaires pour chaque tâche, ainsi que celles que l'on peut obtenir après chaque tâche.
5. Créer une représentation du processus d'exécution BIM détaillé, qui permet de le visualiser dans son ensemble, avec les différents acteurs, les données disponibles et échangées à chaque étape. (*Detailed BIM use process map*, fig 22)

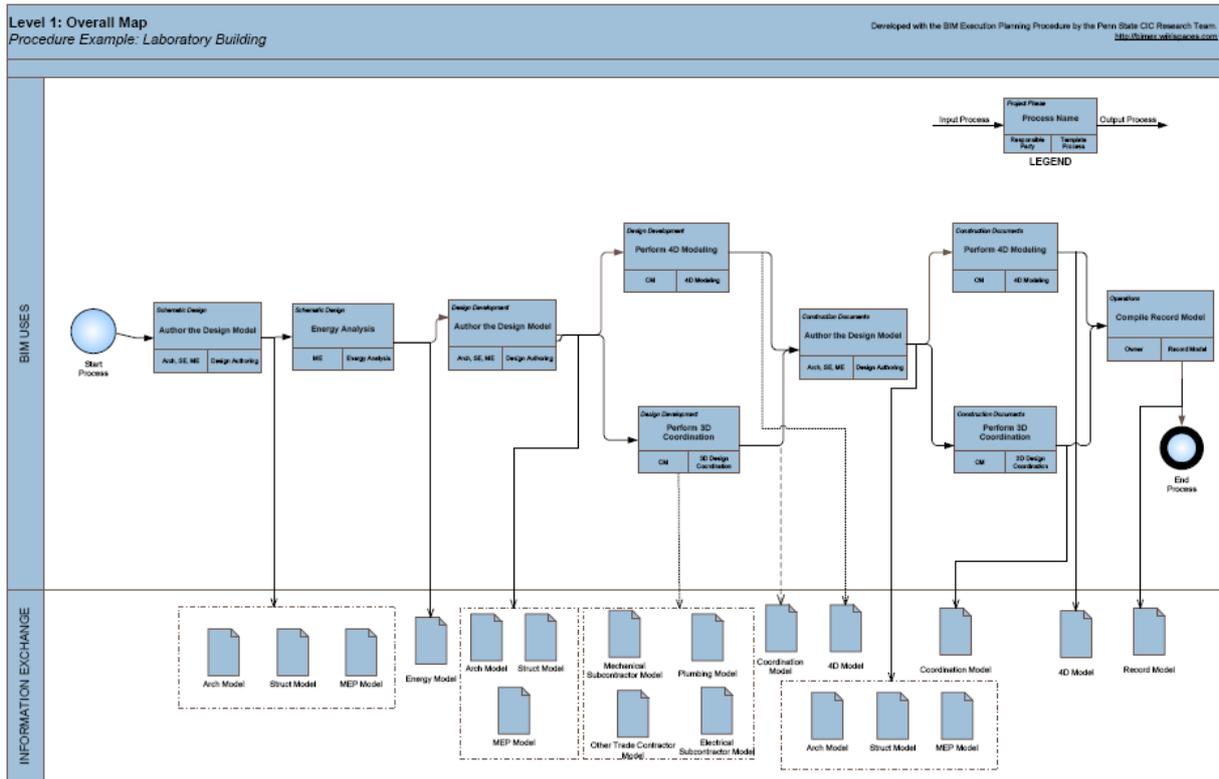


Figure 23 : Représentation générale des différentes utilisation BIM du projet, avec les acteurs associés.

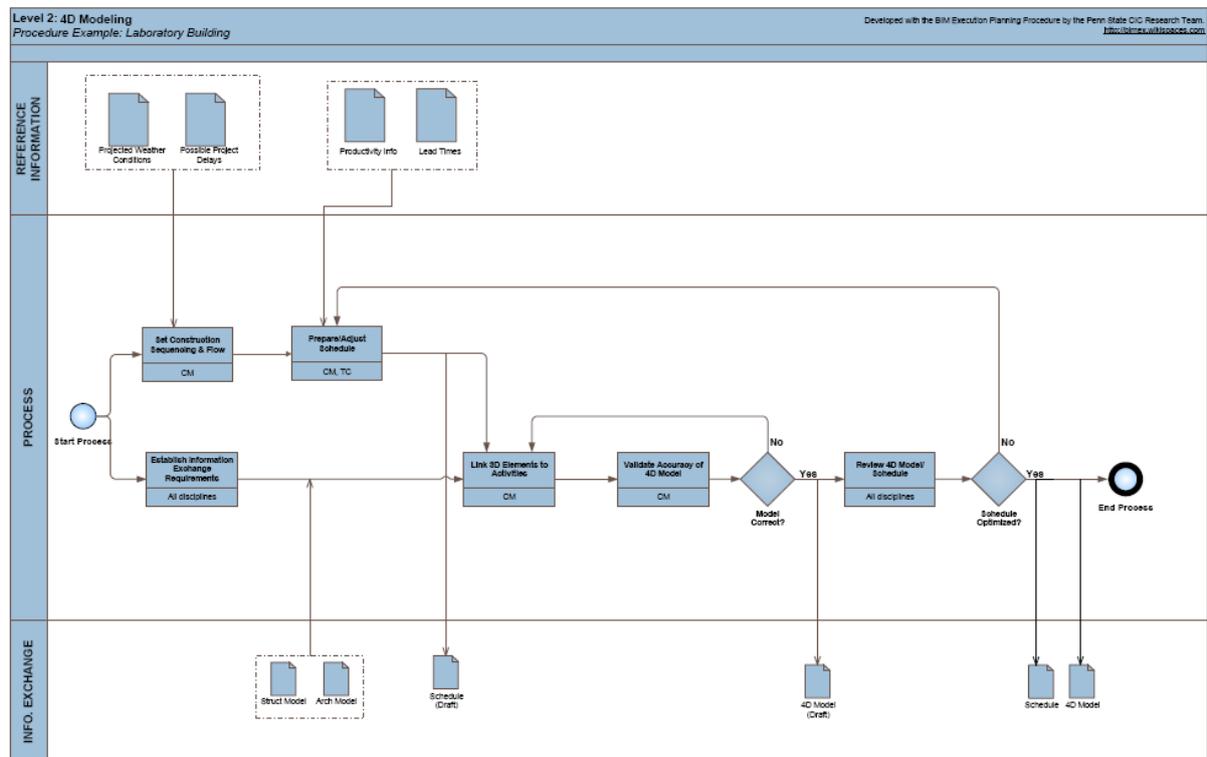


Figure 24 : Représentation détaillée de l'utilisation BIM pour la modélisation 4D pour le projet-test du guide (Detailed BIM Use Process Map)

PHASE 3 : Développement des échanges d'informations

Dans le guide, il est rappelé que la qualité d'un modèle quel qu'il soit n'est pas directement liée à la quantité d'informations qu'il contient, mais à l'adéquation entre les informations qu'il contient et sa destination. C'est pour cette raison qu'il est très important de définir la destination d'une modélisation, pour distinguer les données nécessaires des superflues afin de concentrer le temps de modélisation sur l'essentiel. La mise en place et l'optimisation d'un processus BIM comporte donc une phase d'étude assez fine de la destination de la modélisation, et des informations nécessaires à chaque étape. Il s'agit d'identifier le type d'information dont on a besoin en entrée pour savoir ce qu'on doit générer en sortie. Cela dépend notamment des logiciels utilisés et de la destination finale de la modélisation.

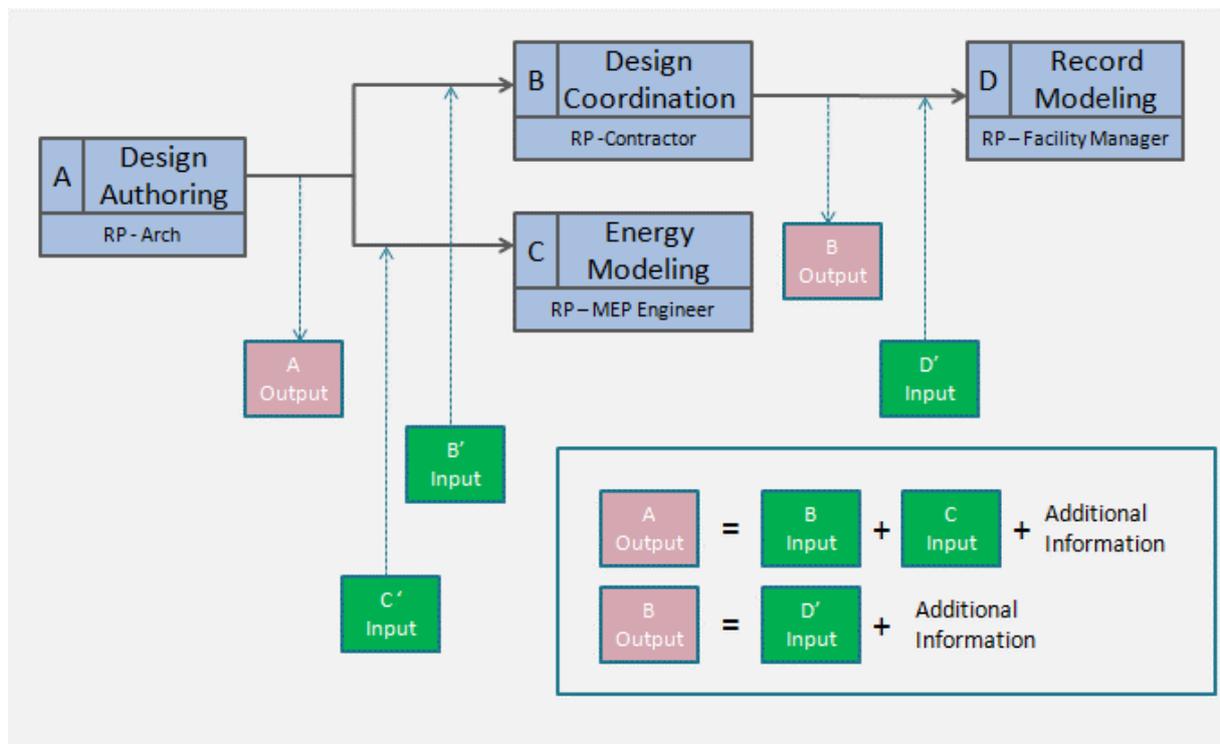


Figure 25 : Exemple d'analyse des informations du projet, sur le projet exemple du guide

PHASE 4 : Définition des conditions requises pour que le processus décrit puisse être mis en place.

Dans le guide de l'Université de Pennstate, la phase n°4 consiste à déterminer les conditions (logicielles, matérielles, etc.) qui sont les plus favorables à l'implémentation du processus tel qu'il a été défini dans les phases précédentes. Dans cette partie, quatorze points sont abordés, nous n'en citerons que quelques-uns :

- Communiquer sur le processus mis en place, créer des documents clairs qui permettent à un nouveau membre d'intégrer le process plus facilement. Communiquer sur les rôles de chacun, les informations échangées, leur provenance, et la destination des fichiers sur lesquels chacun des acteurs travaille. Documenter les processus de collaboration entre les acteurs.
- Favoriser la communication entre les acteurs pour faire remonter les informations concernant les erreurs ou malfaçons du processus.

- Créer un processus de vérification de la qualité (le modèle est-il conforme aux exigences du processus ?)
- Déterminer les conditions *software* (logicielles) et *hardware* (matérielles) qui sont nécessaires pour effectuer la mise en place du processus tel qu'il a été décrit.
- Décrire très précisément les livrables, et les relations contractuelles qui encadrent le processus.

Dans le *BIM Project Execution Planning guide 2.0*, on retrouve même dans un dernier chapitre un planning de réunions avec les points à aborder dans chacune d'entre elles, qui permettent d'aborder tous les points nécessaires à la création d'un processus de ce type.

Conclusion et critique de la méthode

La méthode proposée dans le guide pratique de l'Université de Pennsylvanie est très générale et souple, qui peut correspondre à des organisations et acteurs variés, ainsi qu'à des projets très divers. Elle est détaillée et permet d'aborder de très nombreux aspects relatifs au changement des pratiques CAO, comme l'aspect collaboratif, les capacités/expérience des acteurs, l'aspect logiciel, contractuel et légal, etc.

Cependant, elle intègre peu les habitudes CAO des acteurs. Cela est particulièrement problématique quant à la transition d'usage des pratiques CAO « classiques » vers un BIM niveau 1 ou 2.

- Tout d'abord, la phase 1, qui rappelons-le correspond à l'identification des objectifs et à leur lien avec des utilisations BIM potentielles, intervient avant une immersion ou étude des pratiques existantes dans l'agence d'architecture ou le bureau d'études.
- C'est ainsi que lors de la phase 2, qui correspond à la création d'un processus qui intègre les utilisations BIM potentielles retenues, le processus alors créé peut être extrêmement différent de celui établi en agence et des pratiques habituelles des différents acteurs du projet. Le fait de ne produire aucune représentation du processus existant empêche la comparaison des deux pour évaluer la quantité de nouveauté.
- La phase 3 qui correspond au développement des échanges d'informations est également très détaillée et permet de se faire une idée très précise de ce qu'il est important d'évaluer en terme d'échange d'informations. Cette partie n'intègre cependant pas la notion de bogue dans les échanges. Or dans une méthode de mise en place de processus BIM, la résolution de problèmes techniques et bogues informatiques peut occuper une place importante.
- Enfin, pour la phase 4 qui consiste à définir les conditions requises pour que le processus alors imaginé puisse être mis en place correctement, de nombreux aspects relatifs à la transition vers le BIM sont abordés, comme la communication, l'aspect légal et contractuel, etc. Mais le guide pratique évoque le choix à ce moment-là (après l'élaboration du processus) des équipements *software* et *hardware*, en fonction de ce qui est le plus adapté au nouveau processus. Ici également, les pratiques établies ne sont pas intégrées.

De manière générale, le guide proposé est très détaillé. Il part de l'objectif à atteindre, pour établir une méthode

qui peut permettre d'atteindre l'objectif dans les conditions les plus favorables. Mais celle-ci concerne en fait la mise en place d'un processus « idéal » et nouveau, sans intégration des pratiques établies au sein des différentes structures et chez les différents acteurs. Or, il nous a semblé que l'enjeu du BIM aujourd'hui était justement dans la manière dont s'opère la transition d'un processus de travail à un autre. D'où l'idée de nous intéresser à la notion de changement.

Le changement

Généralités

Définitions du Changement

- « *Fait de rendre plus ou moins différent, de transformer, de modifier* » (CNRTL, définition A)
- « *Remplacement, renouvellement, fait de mettre à la place quelque chose de différent, mais de même nature ou fonction* » (CNRTL, définition B)
- « *Le changement désigne le passage d'un état à un autre* » Wikipedia
- « *Le changement est le résultat du fait de changer* » Linternaute

Ces définitions mettent en évidence la présence d'un état initial et d'un état final obtenu par l'action du changement. Elles mettent également en évidence l'importance de l'apprentissage³⁷.

état initial + **changement** = état final

Différents aspects du changement

Les travaux de Kurt Lewin

Kurt Lewin est un psychologue spécialiste en psychologie sociale et en comportementalisme. Il est notamment connu pour ses travaux sur la « dynamique de groupe », mais a également travaillé sur la notion de changement. Ses travaux sont repris par les spécialistes du management et de la gestion d'entreprise, ainsi que la gestion du changement. Nous nous intéresserons donc à un de ses concepts, celui qui concerne le « *unfreeze – change – freeze* ».

Ce qui rend ses travaux intéressants dans notre cas, c'est le fait qu'il ne s'intéresse pas seulement à la période de transition elle-même, mais aux conditions qui favorisent sa réalisation et son maintien dans le temps. Le

³⁷ BAGOZZI, Richard P., DAVIS, Fred D. et WARSHAW, Paul R. Development and test of a theory of technological learning and usage. *Human relations*. 1992, Vol. 45, n° 7, p. 659–686.

processus de changement durable se produit selon lui en trois étapes³⁸ :

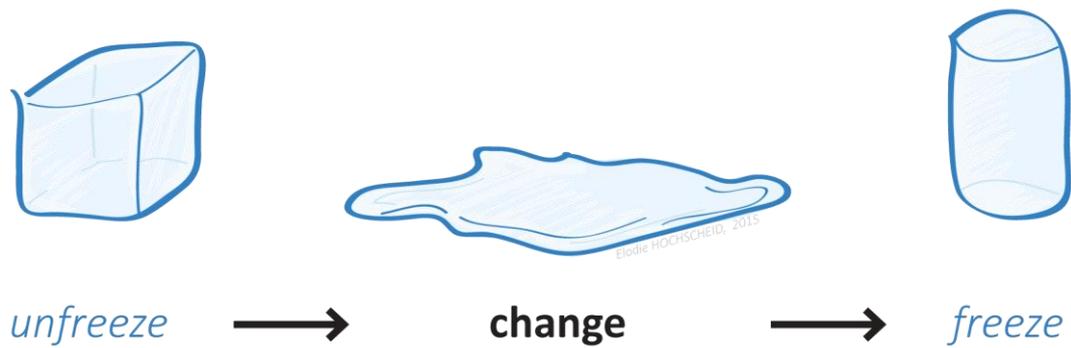


Figure 26 : Schéma représentant les trois étapes du changement selon Lewin.

1. **Unfreeze** : Lewin pensait que la stabilité du comportement humain était basée sur un équilibre dont les éléments constitutifs varient peu, et que cet équilibre a besoin d'être déstabilisé pour que le comportement puisse être modifié. L'étape de l'*unfreeze* est l'étape pendant laquelle les personnes qui vont être confrontées au changement prennent conscience de la nécessité de changer. Il s'agit de « dégeler » la situation existante, pour la rendre malléable, prête à accueillir le changement. C'est l'étape qui crée la motivation qui favorise l'apprentissage, sans pour autant organiser le processus de changement.
2. **Change/Moving** : C'est une période qui peut, selon Lewin, être une période de confusion. C'est l'étape pendant laquelle le changement est planifié et exécuté.
3. **Freeze** : Il s'agit de la période de consolidation du changement. Les individus dont les habitudes sont modifiées auront tendance à revenir à leurs anciennes méthodes de travail. C'est cette période de resolidification qui permet au changement de durer, de l'ancrer profondément dans les habitudes, et d'éviter le retour en arrière.

Apport par rapport à notre expérimentation :

Selon la définition et la conceptualisation du changement de Kurt Lewin, nous pouvons conclure que les acteurs qui interviennent dans notre situation d'expérimentation sont déjà passés par l'étape de l'« unfreeze » puisqu'ils ont manifesté leur volonté de changer leurs pratiques, et qu'ils semblent saisir l'intérêt de ce changement.

³⁸ BURNES, Bernard. *Kurt Lewin and the Planned Approach to Change: A Re-appraisal*. septembre 2004. ISBN 0022-2380.

Les théories behaviouristes.

La « *Lazy person theory* »³⁹ (LPT) des finlandais Franck Tétard et Mikael Collan est issue de différents modèles et théories de behaviouristes (aussi appelés comportementalistes). Il s'agit d'une approche psychologique qui, dans le cas de cette théorie, répond à l'objectif d'identifier les facteurs qui favorisent l'intégration d'une technologie. La LPT intègre et hérite de modèles behaviouristes, voici les principaux :

- **Theory of Reasoned Actions**⁴⁰: Le modèle suggère que l'on planifie nos actions en fonction de **notre état d'esprit** (*attitude*) c'est-à-dire les conséquences que l'on imagine que notre comportement va entraîner, et la **norme subjective** (*subjective norm*) c'est-à-dire la perception que les autres auront de notre comportement. La **Theory of Planned Behaviour**⁴¹ ajoute à la TRA l'aspect « effort » : dans cette théorie, l'intention de comportement dépend de l'attitude, de la norme et de l'effort évalué pour effectuer un changement de comportement.
- **Technology Adoption Model**⁴²: Dans ce modèle, ce sont l'utilité perçue (*perceived usefulness*) et la facilité d'utilisation (*ease of use*) qui prédominent et conditionnent l'adoption d'une technologie.
- **Unified Theory of Acceptance and Use of Technology**⁴³ : Dans ce modèle, on considère qu'il existe quatre principaux facteurs d'adoption d'une technologie : les attentes en terme de performances, l'influence sociale, l'évaluation de l'effort nécessaire à son adoption, et l'environnement existant. L'intention d'utiliser une nouvelle technologie est également dépendante des individus : leur genre, âge, expérience ainsi que leur caractère (volontaire ou non).

³⁹ TÉTARD, Franck et COLLAN, Mikael. Lazy user theory: A dynamic model to understand user selection of products and services. Dans : *System Sciences, 2009. HICSS'09. 42nd Hawaii International Conference on* [en ligne]. IEEE, 2009, p. 1–9. [Consulté le 21 juillet 2015]. Disponible à l'adresse : http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4755755.

⁴⁰ ALBARRACIN, Dolores, JOHNSON, Blair T., FISHBEIN, Martin, et al. Theories of reasoned action and planned behavior as models of condom use: a meta-analysis. *Psychological bulletin*. 2001, Vol. 127, n° 1, p. 142.

⁴¹ AJZEN, Icek. The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*. 1991, Vol. 50, n° 2, p. 179–211.

⁴² DAVIS, Fred D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS quarterly*. 1989, p. 319–340.

⁴³ VENKATESH, Viswanath. Determinants of perceived ease of use: Integrating control, intrinsic motivation, and emotion into the technology acceptance model. *Information systems research*. 2000, Vol. 11, n° 4, p. 342–365.

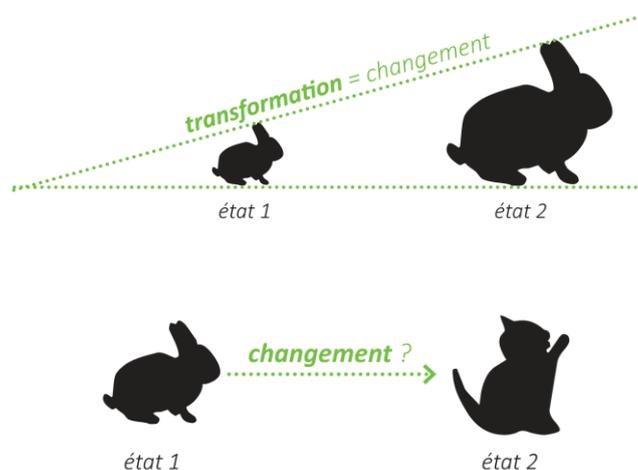
La Lazy Person Theory est un modèle qui conjecture le fait qu'un utilisateur aura toujours tendance à préférer l'outil / la méthode qui lui demande le moindre effort pour effectuer une tâche. L'effort se divise en trois aspects : l'investissement financier, l'investissement en temps, et l'effort physique ou intellectuel à effectuer. Lorsque la technologie est nouvelle, l'effort à fournir pour l'utiliser est obligatoirement plus important que lorsqu'elle est maîtrisée, d'où la difficulté d'engager un changement. L'effort à fournir pour l'adoption d'une technologie nouvelle serait, selon cette théorie, soumise à la même règle : l'effort doit être minime et rentable.

Orlikowski : l'utilisation des technologies, le rôle de l'individu, les habitudes.

Selon Orlikowski⁴⁴ il est important de dégager la notion d'usage de technologie (use of technology) de la technologie elle-même. La technologie est matérielle ou logicielle, alors que l'usage est relatif aux utilisateurs et à la manière dont ils se servent de la technologie. Il met en évidence le fait qu'il existe autant de manières d'utiliser une même technologie que d'utilisateurs. Chacun est susceptible de détourner (intentionnellement ou non) une technologie, d'une manière qui n'a pas été anticipée par les développeurs de celle-ci. Il existe également des habitudes universelles (ou presque), qui sont récurrentes entre les technologies (comme par exemple Ctrl+Z, qui est un standard pour les logiciels). La prise en main d'une nouvelle technologie dépend donc également des similarités que l'utilisateur va retrouver avec les environnements qu'il a connus auparavant.

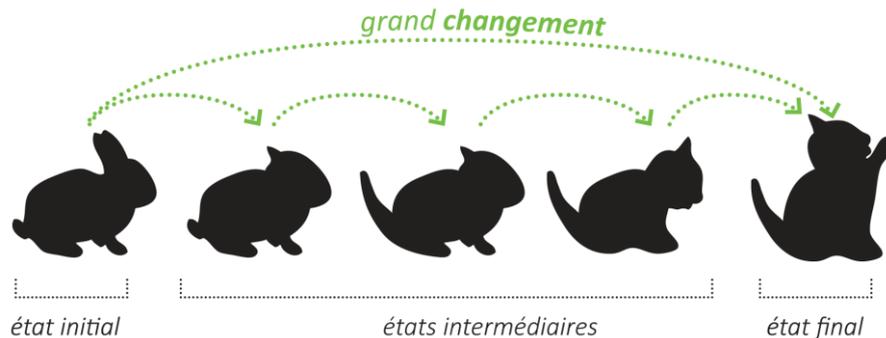
Hypothèse : Décomposer le changement permet de mieux l'assimiler.

Intuitivement, il nous semble que plus l'état initial et l'état final sont différents l'un de l'autre, plus le changement est difficile à concevoir, mettre en œuvre et assimiler.



⁴⁴ ORLIKOWSKI, Wanda J. Using technology and constituting structures: A practice lens for studying technology in organizations. *Organization science*. 2000, Vol. 11, n° 4, p. 404–428.

Ainsi, lorsque l'on souhaite arriver à un état final très différent de l'état initial, il conviendrait de décomposer le changement en plusieurs étapes pour lesquelles chacun des états intermédiaires présenteraient d'importantes similitudes avec l'état qui le précède.



Ainsi, pour permettre l'intégration du changement, nous faisons l'hypothèse qu'il faut se baser sur un état initial, l'étudier pour en comprendre les enjeux et les niveaux d'acceptabilité du changement concernant certains des aspects de cet état. Ce n'est qu'à partir de cette base que le changement peut être envisagé, planifié et décomposé en petites étapes plus facilement assimilables.

Apport par rapport à notre expérimentation :

Si un état final (qui sort du cadre de notre expérimentation) était défini, alors le développement d'échanges avec l'entreprise de charpente sur lequel nous travaillons constituerait un seul maillon de la chaîne de la transition numérique dans l'agence d'architecture.

Conclusion sur la notion de changement

Ces rappels sur la notion de changement et ses implications nous ont permis de dégager quatre étapes importantes dans le processus de changement et d'apprentissage :

- 1. La nouveauté semble attrayante, le changement est jugé intéressant :**
Kurt Lewin explique en effet que tout changement est ou doit être précédé d'un déséquilibre : les individus prennent conscience de l'intérêt du changement. Cette étape dépend des individus eux-mêmes (leur caractère, leur rapport à la technologie, etc.), de leur activité, et de la technologie proposée.
- 2. L'évaluation plus poussée de la faisabilité du changement : est-il possible et rentable ?**
Les individus évaluent ensuite l'effort (économique, intellectuel, temporel) à fournir pour effectuer le changement. D'autres aspects sont également évalués, comme la perception de l'utilisation du nouvel outil. Ces éléments interviennent sur l'intention de changer.
- 3. La phase d'apprentissage :**
Les habitudes sont perturbées : on apprend à travailler autrement, c'est une étape perturbante, qui demande beaucoup d'efforts. On décompose cette partie en plusieurs sous parties pour diminuer l'intensité de l'effort à fournir pour chacune d'entre elles.
- 4. Consolidation et ancrage des nouvelles pratiques :**
Il est plus commode pour les individus de revenir à leurs anciennes pratiques : cela leur demande moins d'effort. Selon Kurt Lewin, l'apprentissage est succédé d'une étape de consolidation.

Comprendre et modéliser les pratiques métier

La partie précédente sur le changement met en évidence l'importance de bien cerner la nature des pratiques établies dans la structure dans laquelle le changement va avoir lieu (décrire l'état initial). Dans la méthode de l'université de Pennsylvanie, on utilise une notation BPMN pour décrire les pratiques et processus nouveaux. Il nous a semblé que la démarche qui consiste à accompagner le changement devait en plus proposer une représentation graphique des pratiques avant le changement.

Le travail que nous effectuons nécessite une approche orientée usage (usage-centered design)⁴⁵, par opposition à l'approche orientée utilisateur (user-centered design), car les pratiques auxquelles nous sommes confrontés sont des pratiques collaboratives basées sur le partage d'un modèle, et non des pratiques individuelles. L'usage est défini par un ensemble de tâches et se caractérise par la notion de contexte⁴⁶.

Pour décrire les tâches successives qui entrent dans la composition d'un processus d'échanges entre deux entreprises, il est essentiel de bien comprendre les différents contextes auxquels celles-ci sont confrontées. Il peut être utile de les représenter graphiquement afin de les rendre tangibles.

Le tableau ci-dessous est extrait de l'article de S.Kubicki et G.Halin, qui résument les différents contextes qui caractérisent l'usage dans les travaux de L.Constantine et L.Lockwood.

Contexte utilisateur	Préférences, habitudes, compétences
Contexte matériel	Type d'équipement, dispositif d'interaction ...
Contexte temporel	Fréquence, synchronisation
Contexte de localisation	Lieu, environnement, coprésence

⁴⁵ CONSTANTINE, Larry L et LOCKWOOD, Lucy A. D. *Software for use: a practical guide to the models and methods of usage-centered design*. Boston, MA : Addison Wesley, 1999. ISBN 9780321773722 0321773721.

⁴⁶ SÉMINAIRE DE CONCEPTION ARCHITECTURALE NUMÉRIQUE, KUBICKI, Sylvain, HALIN, Gilles, et al. (dir.). *Interaction(s) des maquettes numériques: actes du 6ème Séminaire de conception architecturale numérique, [Luxembourg, 18-20 juin 2014]*. Nancy : PUN-Éd. universitaires de Lorraine, 2014, p. 65- 67. ISBN 9782814301719 2814301713. En citant Constantine & Lockwood.

Modéliser des pratiques métier et des processus d'échanges

Plusieurs notations existent déjà pour la modélisation de processus. Parmi elles, la BPMN (Business Process Model and Notation), l'UML (Unified Modeling Language) et l'EPC (Event Process Chain) semblent être les plus utilisées⁴⁷. La BPMN est plutôt orientée processus métiers, et relativement compréhensible par un néophyte. Elle permet de faire une première esquisse du processus⁴⁸. L'UML est plutôt utilisé pour le développement logiciel, notamment pour la conception orientée objet, même est également utilisé pour décrire tous types de systèmes, y compris non-logiciels⁴⁹.

Dans l'article « *Modélisation des échanges d'information orientés objet du bâtiment – Des pratiques métiers aux usages d'outils d'assistance à la coopération* » par Daniel Zignale et Sylvain Kubicki, on retrouve tout d'abord une L'EPC semble peu utilisée dans le domaine du BIM, et plus difficilement compréhensible par un néophyte. Nous nous orientons donc vers les notations de type UML et BPMN. Daniel Zignale qui a travaillé dans sa thèse sur la modélisation des pratiques a développé un outil décrivant « des pratiques observées dans des projets de conception-construction collaborative »⁵⁰. Il s'agit du « Méta-Modèle des Pratiques Métier (MMPM) ».

⁴⁷ SÉMINAIRE DE CONCEPTION ARCHITECTURALE NUMÉRIQUE, KUBICKI, Sylvain, HALIN, Gilles, et al. (dir.). *Interaction(s) des maquettes numériques: actes du 6ème Séminaire de conception architecturale numérique, [Luxembourg, 18-20 juin 2014]*. Nancy : PUN-Éd. universitaires de Lorraine, 2014, p. 65- 67. ISBN 9782814301719 2814301713.

⁴⁸ *formal-11-01-03.pdf*. [s. d.], p. 31.[Consulté le 25 mars 2015]. Disponible à l'adresse : www.omg.org/spec/BPMN/2.0/.

⁴⁹ *OMG UML* [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 25 mars 2015]. Disponible à l'adresse : http://www.omg.org/gettingstarted/what_is_uml.htm.

⁵⁰ ZIGNALE, Daniel. *Concevoir des services collaboratifs adaptés à des pratiques métiers : une méthode centrée usages*. [S. l.] : [s. n.], 2013.

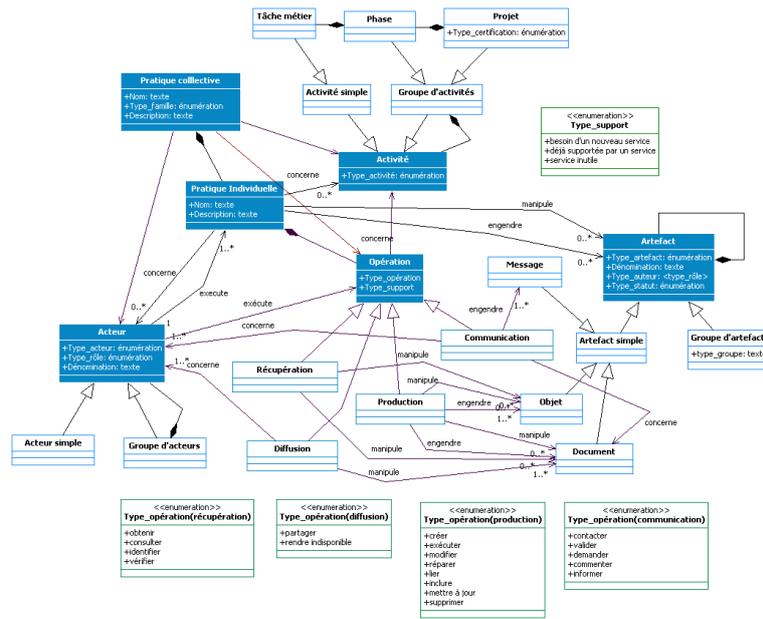


Figure 27. Méta modèle des pratiques métiers (MPPM) de Daniel Zignale

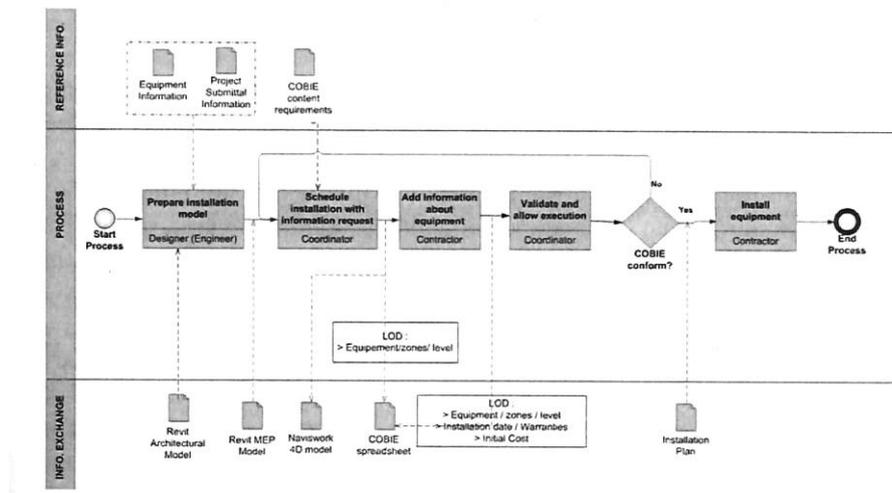


Figure 28. Exemple de processus BIM en BPMN

Conclusion

La méthode étudiée (*le Bim Execution Planning Guide*) est complexe et détaillée, mais n'intègre que très peu les pratiques existantes en agence. Or il nous a semblé que l'enjeu pour la transition au BIM se situait justement dans le passage d'un processus de travail à un autre. Nous avons donc complété notre compréhension du sujet par l'étude des thèses des behavioristes. Il s'agit d'approches psychologiques qui concernent l'étude des conditions de l'adoption d'une nouvelle technologie. Ces thèses suggèrent l'importance de la compréhension de l'état qui précède le changement, ainsi que de l'étape d'apprentissage, composante du changement lui-même. De plus, pour mettre au point une méthode et communiquer sur son contenu, il est important de pouvoir modéliser les pratiques métiers, c'est-à-dire expliciter le contexte de travail et de collaboration des acteurs la construction. Tous ces éléments constituent donc des pistes d'amélioration de la méthode initiale, et sont pour nous une base pour la partie suivante.

III. Proposition d'une méthode

Ebauche d'une méthode générale

L'état de l'art précédent nous permet de replacer notre expérimentation dans un processus plus global, que nous n'aurons cependant pas les moyens de développer intégralement. La méthode que nous proposons pour intégrer dans une agence un processus de travail et de collaboration basée sur les technologies « BIM » est calquée sur celle de l'université de Pennsylvanie et comporte quatre grandes étapes :

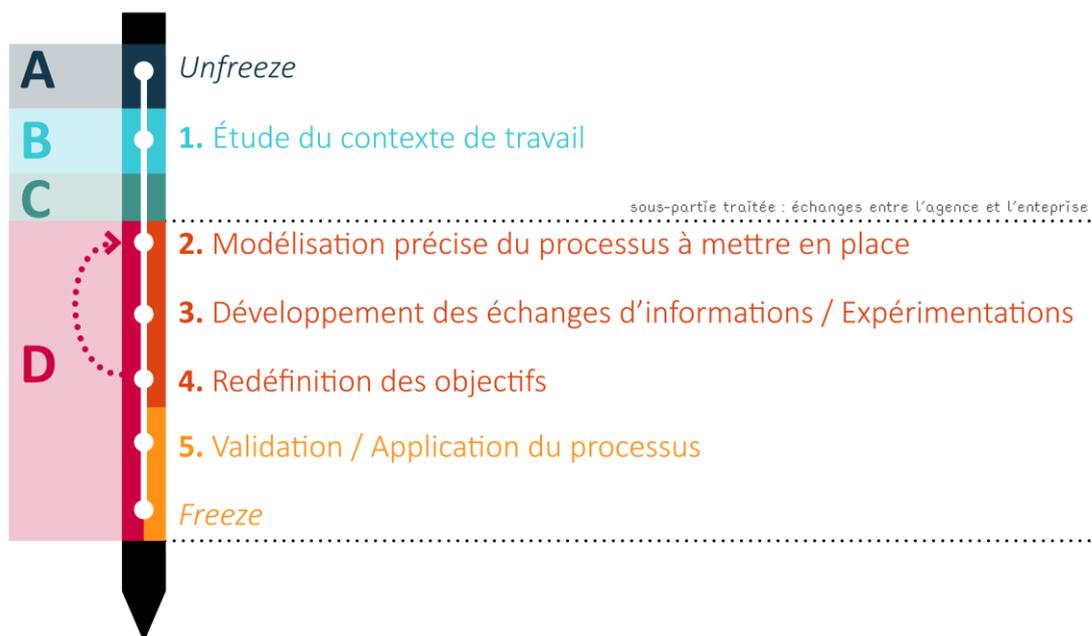


- La première étape consiste à **éveiller l'intérêt** des équipes **pour le changement**.
- Avant de structurer le changement, il faut **comprendre le contexte de travail et les pratiques collaboratives** des équipes : on les représente de manière schématique pour en avoir une vision globale. On se base notamment sur une représentation de type BPMN, et la description du contexte de collaboration évoqué dans l'état de l'art précédent.
- L'étape C permet de **mettre en évidence d'éventuels points d'amélioration** possibles dans le processus existant : dans cette étape, **on modélise le processus global** que l'on souhaiterait mettre en place, de manière schématique. La comparaison de cette représentation avec celle réalisée à l'étape B permet de visualiser les points de différence (les représentations doivent être du même type pour permettre cette comparaison et évaluation des changements). Dans cette étape, on va également **diviser le changement en plusieurs sous-parties** (différents points d'amélioration / de changement à traiter un par un : on décompose le changement pour limiter l'effort à fournir, dans le but de favoriser son assimilation). Cette étape est similaire à l'étape n°1 de la méthode de l'Université de Pennsylvanie : on identifie des objectifs à atteindre et les outils et processus qui pourraient permettre de remplir au mieux ces objectifs.
- Cette phase concerne le **traitement d'un point en particulier (une sous-étape du processus)**. Pour cette

sous-étape, on modélise de manière plus précise les échanges (BPMN) et caractéristiques des fichiers à échanger : on connaît la provenance du fichier (logiciel, utilisateur) et sa destination : on est donc capable de décrire les caractéristiques qu'il doit et peut avoir (niveau de développement, types d'informations, format, etc.) (voir p.38, PHASE 3 : Développement des échanges d'informations). On effectue ensuite des tests qui permettent de valider/d'invalider le processus, qui peut alors être adapté jusqu'à être opérationnel. Une fois opérationnel, le changement doit être effectué et consolidé (étape de *freeze* selon Kurt Lewin) avant le passage à une autre sous-partie en répétant cette étape autant de fois qu'il existe de partitions de changement. Le processus mis en place doit également intégrer une étape de vérification/validation de la qualité du modèle.

La méthode partielle expérimentée

Au vu du temps consacré à l'expérience, il n'a pas été possible de mettre en oeuvre la totalité de la méthode globale envisagée. Nous avons adapté notre travail en nous concentrant sur certaines phases en particulier. Étant donné que la demande était déjà ciblée (améliorer les échanges et partages d'information entre l'agence d'architecture et l'entreprise de charpente), la phase C n'a pas été traitée.



Mise en oeuvre de la méthode

Unfreeze

Dans le cas présent, cette phase avait déjà eu lieu puisque la demande était spontanée. C'est cependant plutôt du côté de l'agence d'architecture que de l'entreprise de charpente que la prise de conscience s'est faite en premier. Cette initiative est le résultat de l'engouement récent pour le BIM, et la communication qui est faite à ce sujet auprès des architectes ces derniers mois. On a cependant vu, tout au long de l'expérimentation un intérêt croissant pour l'outil du côté de l'entreprise de charpente, malgré les problèmes rencontrés.

1. Etude du contexte de travail et de collaboration

L'état de l'art précédent (p.45, Comprendre et modéliser les pratiques métier) nous a permis de mettre en évidence les éléments contextuels importants à étudier lors de la présence de Marc au sein de l'agence, et durant nos visites au sein de l'entreprise de charpente.

Observations générales, échanges de fichiers

Au vu du contexte dans lequel se situe notre expérimentation, il n'était ni nécessaire ni possible pour nous de modéliser la totalité de l'activité des entreprises qui participe au projet. Nous nous sommes concentrés plus spécifiquement sur la phase de projet qui intègre les échanges entre l'agence d'architecture et l'entreprise de charpente, et proposons un modèle très schématique et simplifié de ceux-ci. Le modèle proposé qui est très simplifié, mais permet de mieux saisir la nature de leurs échanges de fichiers.



Figure 29 : Légende des schémas : types de documents échangés et discontinuités d'information

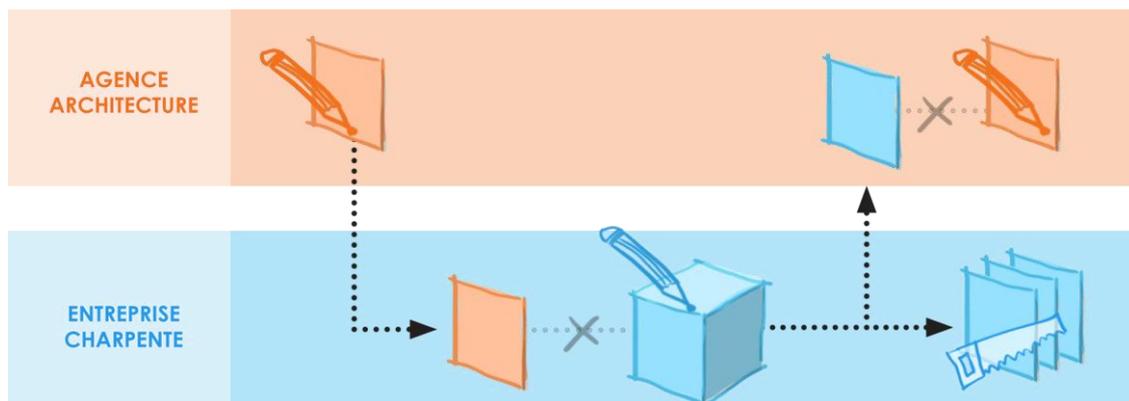


Figure 30 : Schéma simplifié des échanges de fichiers **actuels** entre les deux structures

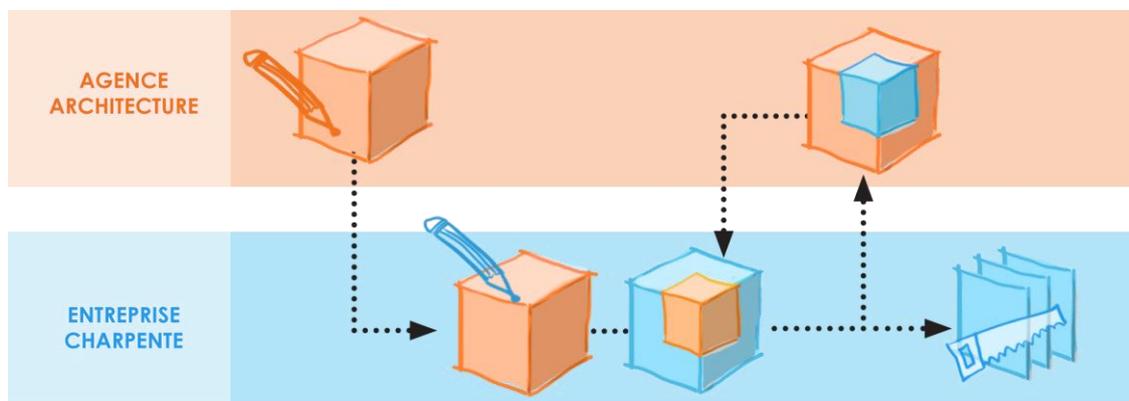


Figure 31 : Schéma simplifié des échanges **souhaités** entre les deux entreprises

L'entreprise de charpente et son fonctionnement interne

Nous nous sommes rendus dans les locaux de l'entreprise, pour comprendre leur fonctionnement interne, de la réception des fichiers des architectes, jusqu'à la production des pièces.



Figure 32 : Photographies prises lors de notre visite à l'entreprise de charpente.

Le fonctionnement actuel comprend quatre grandes étapes :

1. La Réception et l'exploitation des documents des architectes : à cette étape, on effectue une modélisation volumétrique très simple du projet.
2. La modélisation détaillée, qui est réalisée par le chef d'atelier : elle comprend tous les assemblages.
3. L'exploitation du modèle détaillé : c'est à partir de celui-ci que l'on va extraire trois types de documents :
 - les plans que les architectes vont viser (valider)
 - les estimatifs, qui servent à calculer à la fois les volumes de bois, le chargement des camions ... etc.
 - les plans et fichiers pour la fabrication : c'est directement depuis ce modèle 3D que cadwork extrait fichiers lisibles par les machines. On produit également les fichiers pour le montage sur le chantier.
4. la dernière étape est celle du chantier.

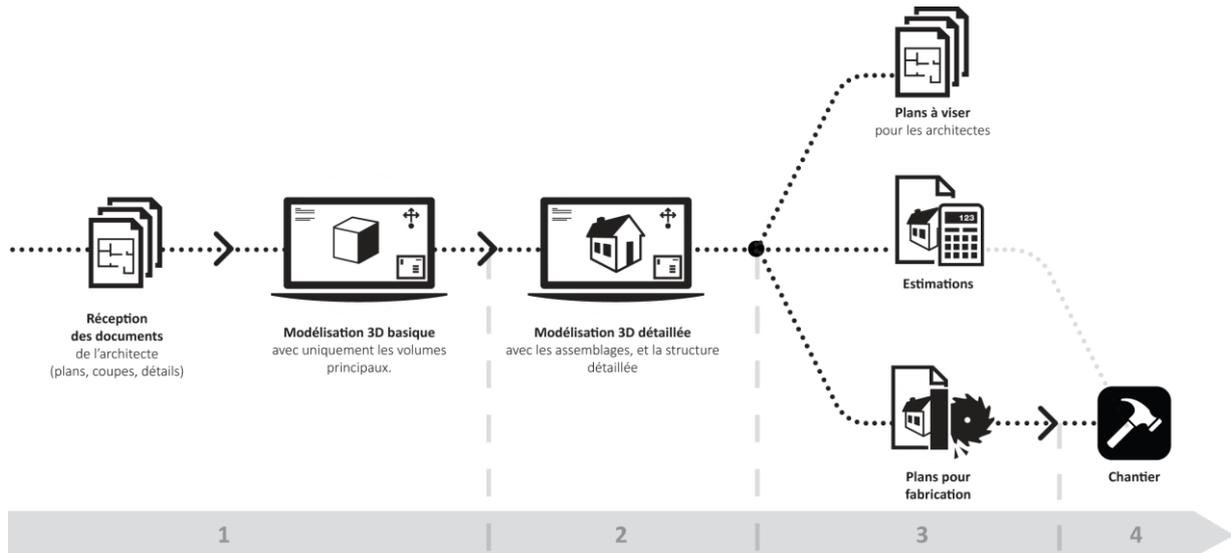


Figure 33 : Chronologie et étapes de transformations et d'utilisations des fichiers au sein de l'entreprise

Au sein de l'entreprise de charpente, une grande partie de l'activité est gérée avec le logiciel cadwork, qui sert modéliser, à produire les documents à communiquer avec les architectes, estimer les coûts et quantités, et exporter les modèles 3D exploitables par les machines à commande numérique.

Utilisation de cadwork

Ces visites nous ont également permis de voir ce à quoi ressemblent les fichiers qui sont utilisés et les informations que l'on retrouve et qui sont exploitées dans les modèles 3D issus de cadwork qui sont exploités au sein de l'entreprise. Nous nous sommes par ailleurs aperçus que notre visualisation des fichiers sur cadwork était différente de la leur. Le logiciel a été paramétré pour leur usage spécifique, et les propriétés/informations sémantiques des modèles 3D ne s'affichent pas exactement de la même manière ni sous la même dénomination : or il est important de connaître avec précision l'emplacement des informations exportées.

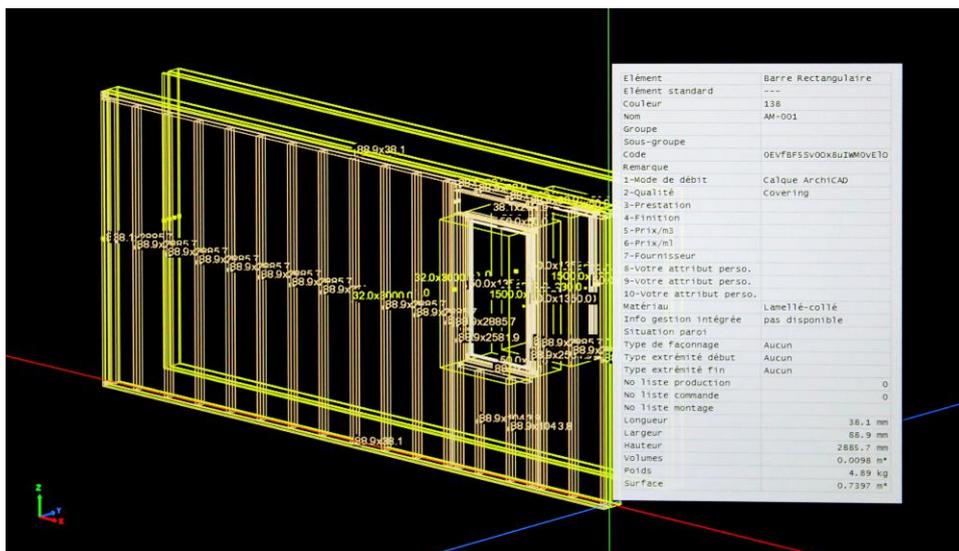


Figure 34 : Affichage des propriétés sur cadwork. Fichier et capture d'écran issus de l'entreprise de charpente.

2. Modélisation du processus d'échanges à mettre en place : modèle BPMN modifié

Comme dans la méthode de l'université de Pennsylvanie, nous avons représenté les pratiques et échanges de fichiers en utilisant un formalisme de type BPMN auquel nous avons ajouté une frise chronologique calquée sur les étapes du projet suivant la loi MOP pour bien situer les actions dans la chronologie du projet d'architecture.

Voir ci-joint la modélisation BPMN que nous avons réalisée pour le processus que nous souhaitons mettre en place.

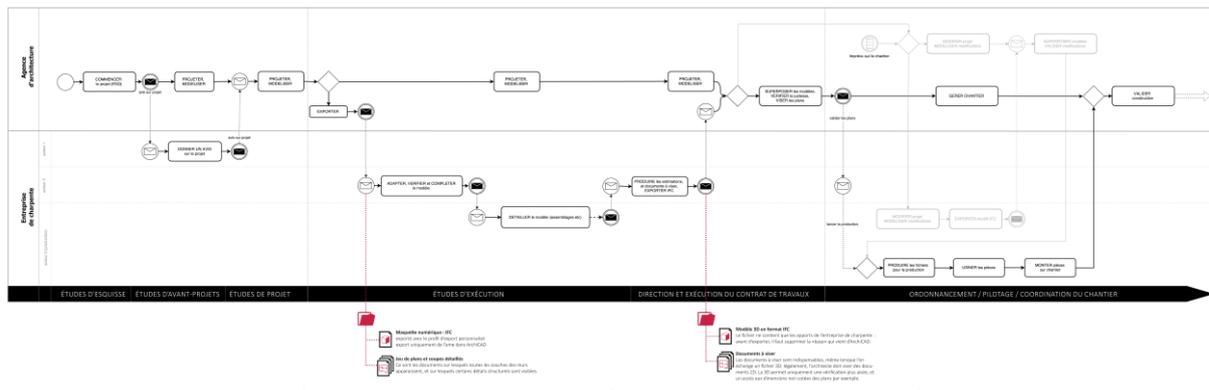


Figure 35 : Aperçu général de la notation proposée

3. Développement des échanges

Les échanges de fichiers IFC sont toujours en développement à la fois du côté de cadwork et d'ArchiCAD. À la différence d'ArchiCAD, cadwork n'est pas encore certifié en import et export. Il propose cependant déjà un module d'export-import (le code 65). Nous avons donc expérimenté ces échanges grâce à ces outils et avons tenté de dégager les facteurs qui influencent la qualité des échanges, sur le plan purement informatique. (voir partie suivante)

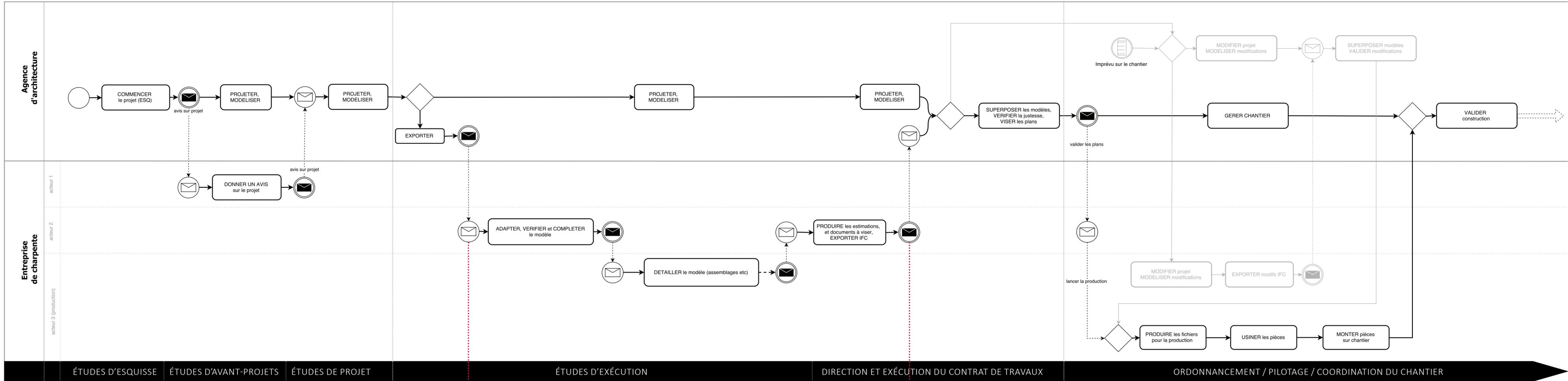
4. Redéfinition des objectifs

Le modèle de processus que nous avons modélisé correspond aux besoins et attentes des deux acteurs. Le développement actuel des logiciels utilisés ne permet cependant pas d'atteindre ces objectifs, nous sommes donc forcés de passer par cette étape postexpérimentation qui consiste à adapter ce processus aux possibilités que nous avons identifiées. Une bonne partie du stage et nos expérimentations se sont situés dans cette boucle entre l'expérimentation et la redéfinition des objectifs.

5. Validation / application

Le temps de l'expérimentation ne nous a pas permis de tester in situ la totalité du processus. Nous nous sommes contentés d'effectuer les échanges entre Marc et moi-même. Nous sommes pour l'instant restés « bloqués » dans la boucle qui se situe entre l'étape 2 et l'étape 4, c'est-à-dire entre la modélisation du processus, les expérimentations et la redéfinition des objectifs. (Voir p.55, Expérimentation et développement des échanges, ci-après)

PROPOSITION D'UNE NOTATION DU PROCESSUS D'ÉCHANGES DE FICHIERS
ÉCHANGES ENTRE LES DEUCX ENTREPRISES



Maquette numérique : IFC
exporté avec le profil d'export personnalisé export uniquement de l'ame dans ArchiCAD

Jeu de plans et coupes détaillés
Ce sont les documents sur lesquels toutes les couches des murs apparaissent, et sur lesquels certains détails structurels sont visibles.

Modèle 3D en format IFC
Le fichier ne contient que les apports de l'entreprise de charpente : avant d'exporter, il faut supprimer la «base» qui vient d'ArchiCAD.

Documents à viser
Les documents à viser sont indispensables, même lorsque l'on échange un fichier 3D: légalement, l'architecte doit viser des documents 2D. La 3D permet uniquement une vérification plus aisée, et un accès aux dimensions non cotées des plans par exemple.

IV. Expérimentation et développement des échanges

D' ArchiCAD vers cadwork

Premiers tests et méthodologie

Démarche à suivre pour l'export-import d'ArchiCAD vers cadwork

L'export

Lorsque l'on exporte un fichier IFC à partir d'ArchiCAD, on peut intervenir sur deux paramètres : ce que l'on souhaite exporter et le traducteur IFC que l'on souhaite utiliser.

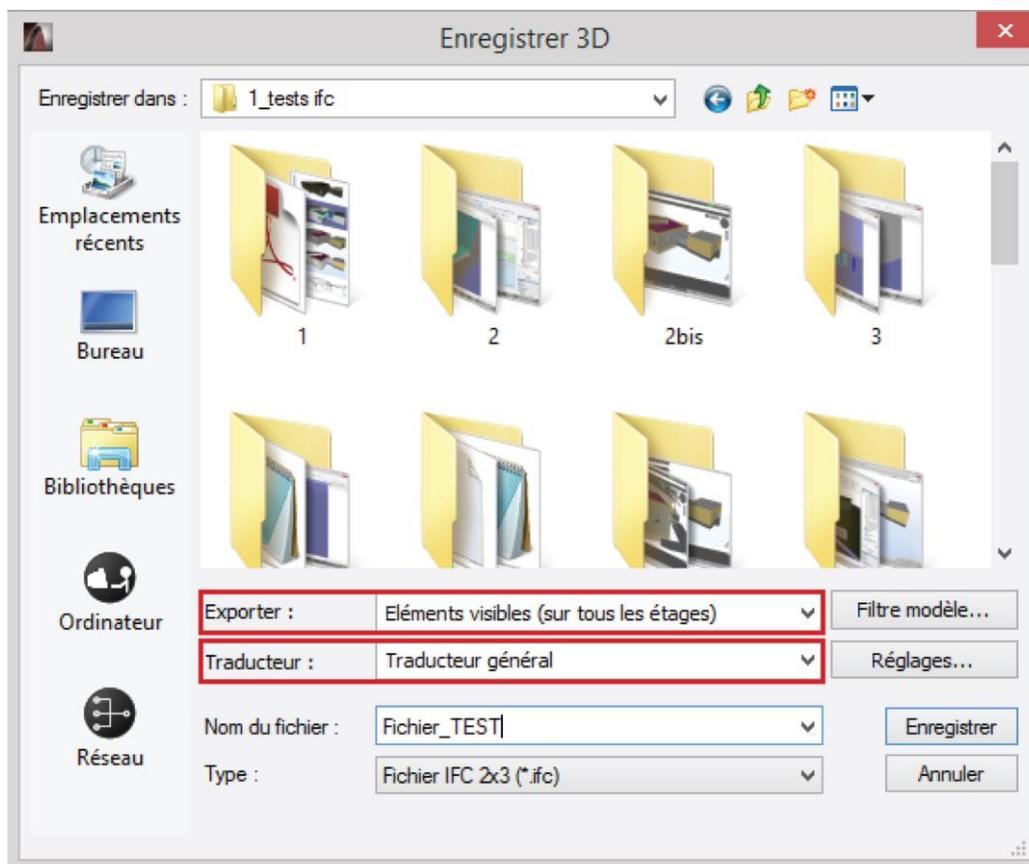


Figure 36 : Options d'exportation IFC dans ArchiCAD

On peut **exporter** :

- La sélection,
- Les éléments visibles au moment de l'export
- Tout le projet

On peut utiliser un **traducteur** : certains sont spécifiques à l'export vers certains logiciels.

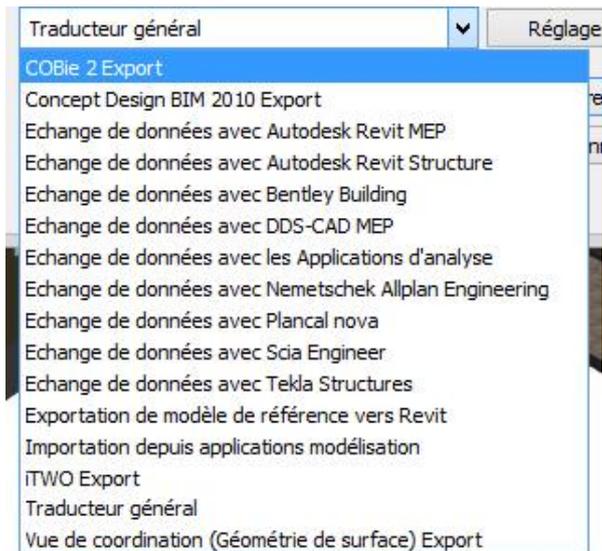


Figure 37 : Traducteurs IFC sur ArchiCAD

ArchiCAD peut exporter un fichier IFC 2x3, et ses variantes, l'ifcxml et l'ifczip (voir 25, Formats d'échange : les variantes et alternatives à l'IFC.). Cadwork ne traite quant à lui que le format IFC dans sa version 2x3, et il s'agit de la seule passerelle possible entre ArchiCAD et cadwork, mais au jour d'aujourd'hui ArchiCAD n'intègre pas de traducteur spécifique à cadwork, et cadwork n'en a pas encore développé.

L'import

L'import d'un fichier IFC sur cadwork se déroule en plusieurs phases :

- L'ouverture du fichier sur cadwork 3D
- La redirection automatique de l'ouverture sur le *viewer* IFC de cadwork (*Cadwork IFC converter*)
- L'enregistrement depuis le *viewer* en format cadwork (.3dz)
- L'ouverture du fichier .3dz dans cadwork.

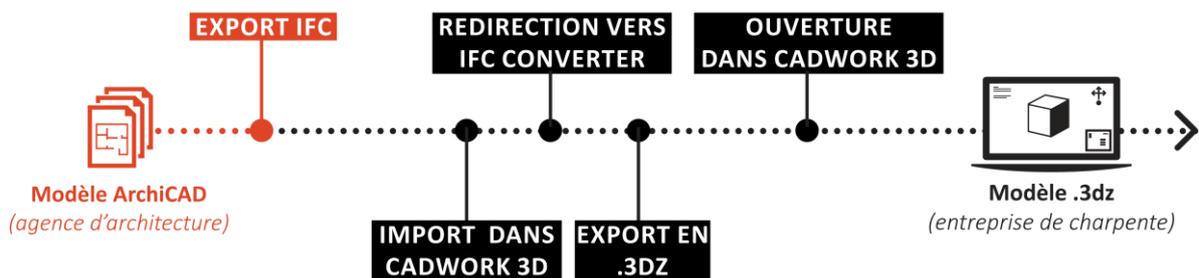


Figure 38 : Schéma des étapes du transfert de fichier d'ArchiCAD vers cadwork

Il existe peu de paramètres sur lesquels on peut intervenir lors de l'import et nous avons vu, de manière générale, qu'ils n'avaient que très peu d'influence sur le fichier.

Lors de l'ouverture de l'IFC converter de cadwork, on peut indiquer :

- si l'on souhaite que les couleurs affichées soient issues de la classe IFC ou du fichier IFC lui-même
- si l'on souhaite ou non importer les géométries sous forme de maillage (non souhaité dans notre cas)
- si l'on souhaite « réparer » la géométrie. (voir Fiche de test n° 17)

Des fiches d'expérimentation et de résultats

Les paramètres d'export sont nombreux. Ainsi, afin de conserver un maximum d'informations sur les tests que nous effectuons et pour pouvoir comparer facilement nos résultats, nous avons complété une fiche pour chacun des tests importants que nous avons effectués (voir en annexe).

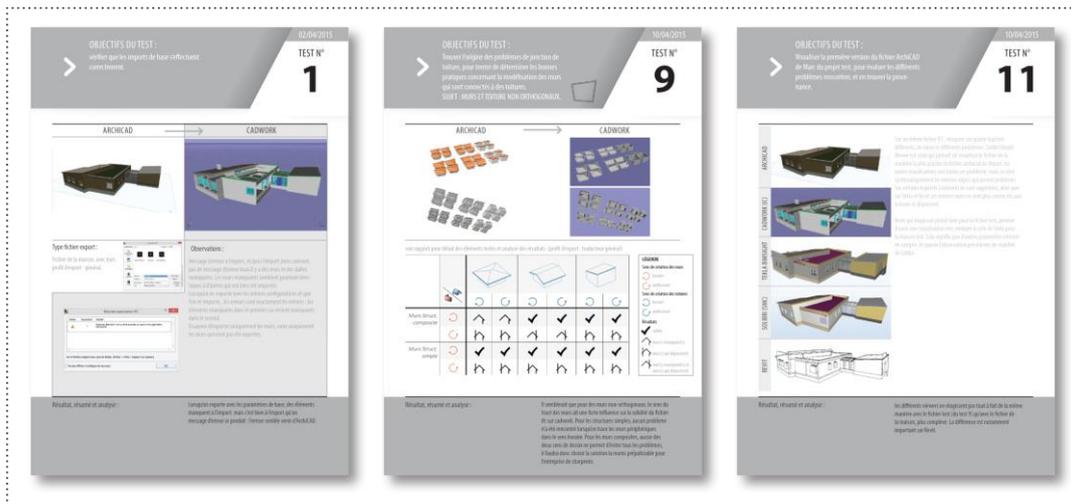


Figure 39 : Aperçu du type de fiches complétées

Premier test

Nos premiers imports réalisés sur la modélisation du projet test en début avril ont permis de mettre en évidence les premiers bogues : avec un profil d'export général et sans précautions particulières prises au moment de la modélisation, le fichier visualisé dans cadwork est altéré : des toitures et murs sont manquants, et certains murs ne sont plus coupés par les toitures : ils dépassent. Les premiers « bogues » à corriger sont donc de nature géométrique.

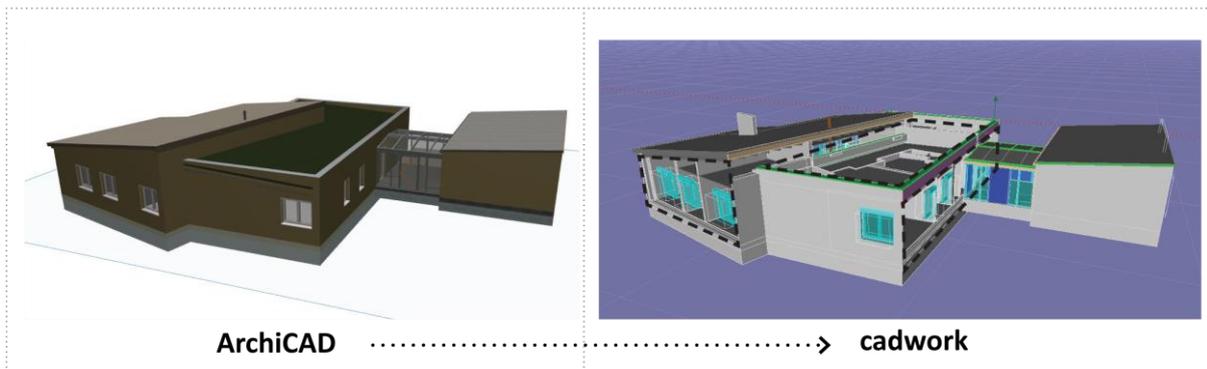


Figure 40 : Visualisation du fichier test sur ArchiCAD et son premier import sur le viewer IFC de cadwork

Facteurs impactant l'interopérabilité

Suite à ce premier test non concluant, nous avons souhaité identifier les facteurs qui impactent l'interopérabilité entre ArchiCAD et cadwork. Des tests complémentaires nous ont permis d'en mettre en évidence trois.

Facteur 1 : manière de modéliser

Nous souhaitons voir si la manière dont l'architecte modélisait pouvait avoir une influence sur la qualité du fichier importé ensuite sur cadwork. Nous avons donc effectué deux séries de tests (voir fiches 8 et 9 pour le détail des conditions des tests ainsi que les résultats obtenus).

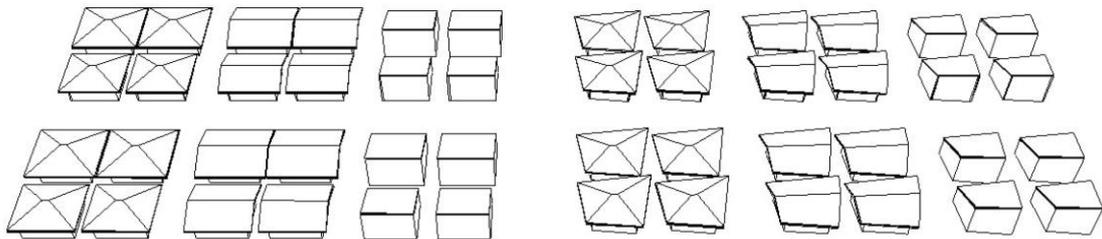
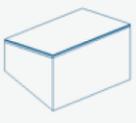


Figure 41 : aperçu du fichier utilisé pour les tests

Sur une série de modèles 3d très simples (uniquement murs et toitures, voir ci-dessus), nous avons testé l'influence :

- de l'orthogonalité / la non-orthogonalité du plan
- du sens de création des murs
- du sens de création des toitures
- du type de toiture (toit à quatre pans, deux pans, un seul pan)
- de la composition des murs (simples ou composites, c'est-à-dire composé d'une couche ou de plusieurs couches et matériaux.)

Voici ci-dessous les tableaux dans lesquels nous avons consigné nos résultats.

							
							
		Sens de création des murs		Sens de création des toitures		Sens de création des murs	
Murs Struct. composite							
							
Murs Struct. simple							
							

LÉGENDE

Sens de création des murs

 horaire

 antihoraire

Sens de création des toitures

 horaire

 antihoraire

Résultats

 valide

 mur(s) manquant(s)

 mur(s) qui dépasse(nt)

 mur(s) manquant(s) et mur(s) qui dépasse(nt)

Figure 42 : Tableau de résultats pour un plan rectangulaire, calé sur les axes X et Y

							
							
		Sens de création des murs		Sens de création des toitures		Sens de création des murs	
Murs Struct. composite							
							
Murs Struct. simple							
							

LÉGENDE

Sens de création des murs

 horaire

 antihoraire

Sens de création des toitures

 horaire

 antihoraire

Résultats

 valide

 mur(s) manquant(s)

 mur(s) qui dépasse(nt)

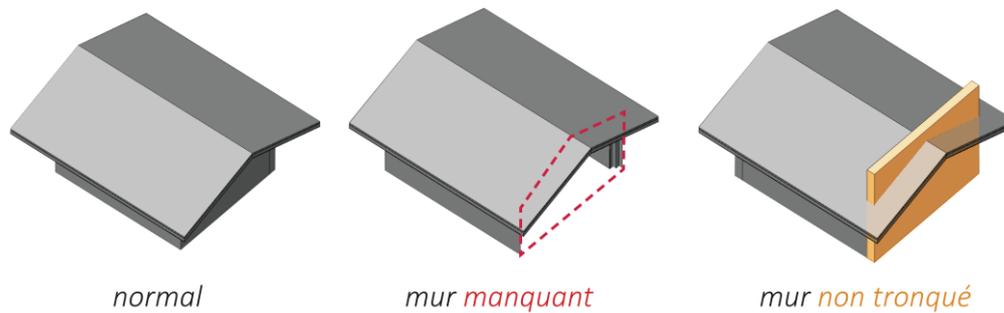
 mur(s) manquant(s) et mur(s) qui dépasse(nt)

Figure 43 : Tableau de résultats pour un plan non orthogonal.

Voici nos observations :

- La **non-orthogonalité** du plan entraîne **plus de bogues** que l'orthogonalité
- Le **sens de dessin des murs** a une **influence** (voir tableau fiches 8 et 9)
- Le **sens de création des toitures** n'a **aucune influence**
- Le **type de toiture** a une **influence** : les toitures plus complexes (nombre de pans plus important) entraînent plus de bugs.
- La **composition des murs** a une **influence** : les murs composites entraînent plus de bogues.

Les erreurs se manifestent de la manière suivante :



- Certains murs sont **supprimés**.
- Certains murs ne sont **plus coupés par la toiture**, ils dépassent. (Sur ArchiCAD, on crée d'abord le mur, puis on le coupe par la toiture. Cette opération est donc supprimée.)
- Les toitures ne sont, pour une géométrie simple, pas affectées.

Conclusion :

Les tests ont été effectués sur des géométries simples pour maîtriser les facteurs testés. Pour ces géométries, on parvient à dégager certaines logiques et des facteurs de bugs récurrents. Le modèle complet révèle quant à lui plus d'erreurs : il est très fastidieux d'en identifier les causes. Il serait presque impossible pour les architectes d'adapter leurs habitudes de modélisation en fonction des bogues référencés : les résultats obtenus sont donc intéressants en ce sens qu'ils constituent une preuve de l'impact de la manière de modéliser sur les informations contenues dans le fichier.

La manière de modéliser ne constitue cependant pas une piste sérieuse de correction de bogues.

Facteur 2 : logiciel de lecture

Il était important pour nous d'identifier la source de l'erreur d'affichage : c'est-à-dire de savoir si le problème provenait du fichier lui-même ou du lecteur utilisé. Nous avons donc lu un fichier IFC exporté depuis ArchiCAD dans différents logiciels (voir fiches 10 et 11) :

- deux viewers (Tekla Bimsight et Solibri Model Checker),
- deux modeleurs (cadwork, Revit). Voici les résultats que nous avons obtenus

Voici ci-contre un premier test sur le fichier basique utilisé pour les tests précédents :

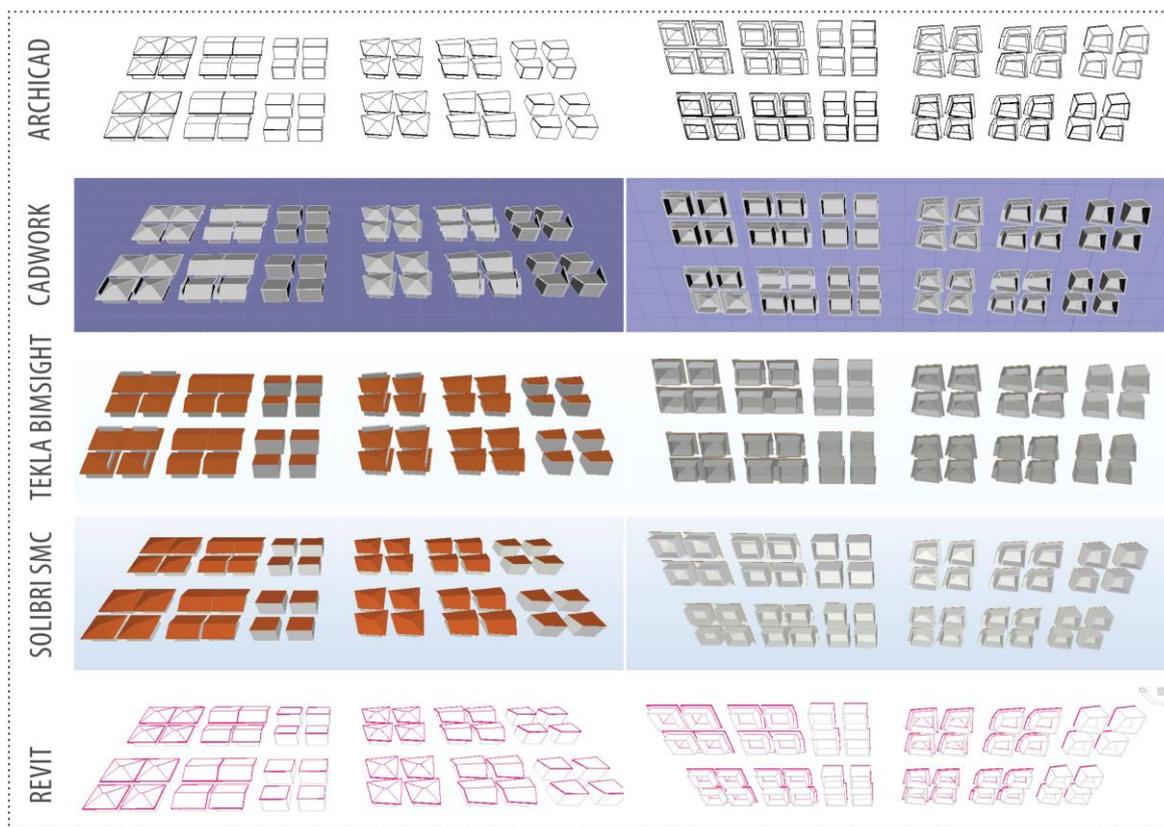


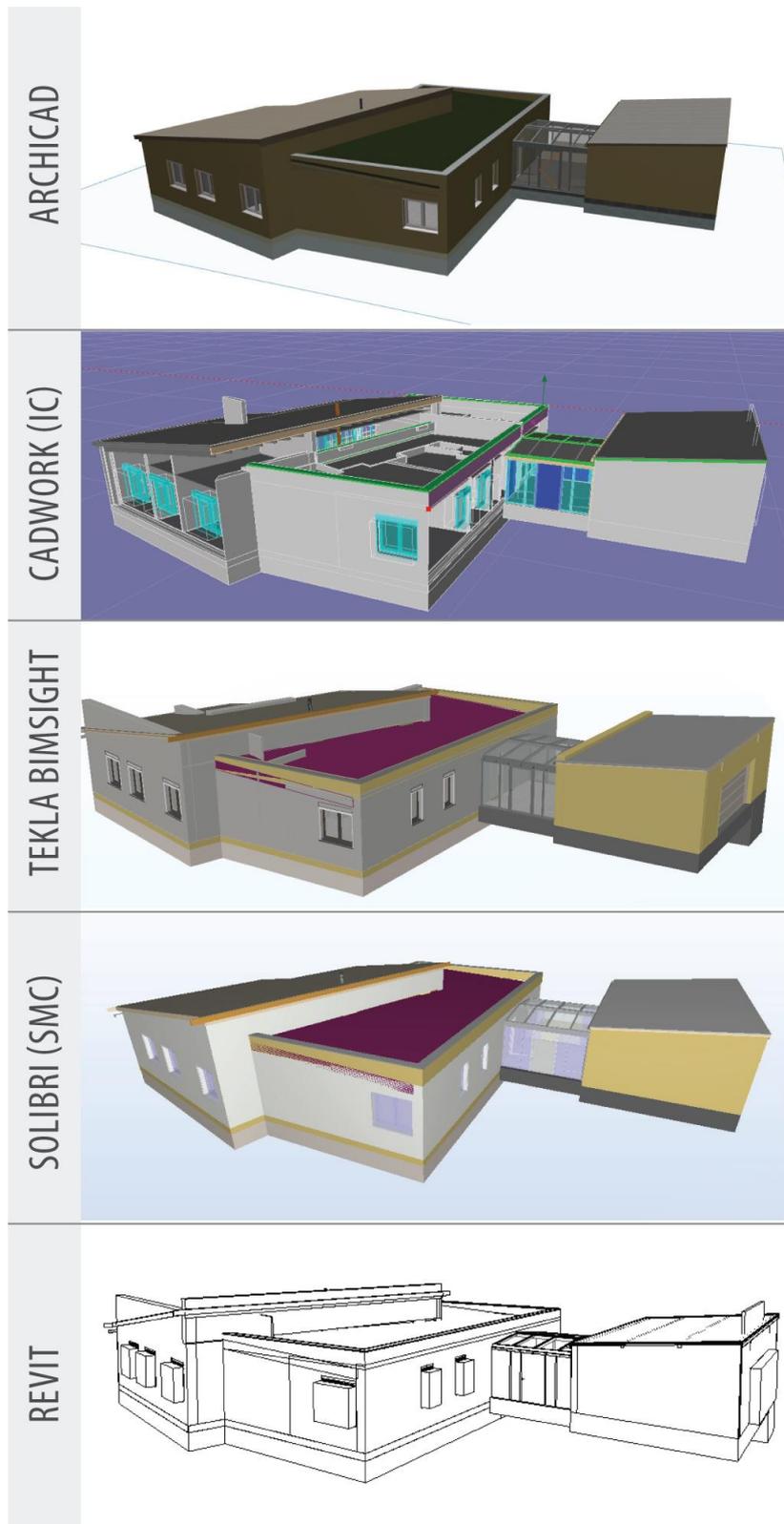
Figure 44 : Visualisation du même fichier IFC exporté depuis ArchiCAD, sur différents logiciels.

- Les erreurs de visualisation sur cadwork sont détaillées dans les fiches 8 et 9,
- Solibri Model Viewer et Revit affichent ces volumes simples exactement de la même manière
- Tekla Bimsight met en évidence des erreurs, sur les mêmes maisons que cadwork. Elles se manifestent cependant parfois différemment :



Figure 45 : Visualisations du même fichier IFC sur Tekla Bimsight et sur cadwork

Nous avons ensuite exporté un IFC 2x3 à partir du modèle créé par Marc pour le projet test. Ce modèle est plus complet, et les résultats sont plus difficiles à analyser :



On retrouve beaucoup plus d'erreurs sur ce modèle que sur le précédent. Cadwork est cependant le seul logiciel qui supprime les murs qui lui posent problème. Solibri Model Checker affiche le modèle de manière aussi propre

qu'ArchiCAD. Il est donc possible pour un logiciel de lire le fichier correctement. La visualisation du fichier sur Revit présente de nombreuses similarités celle de Tekla Bimsight : les erreurs sont presque les mêmes, mais Revit semble réagir un peu mieux : on y dénombre moins d'erreurs.

Conclusion :

Le logiciel de lecture du fichier IFC peut plus ou moins bien « lire » et afficher la géométrie : dans notre cas, c'est le *viewer* SMC qui est le plus performant et qui affiche le fichier au plus proche de la modélisation initiale sur ArchiCAD. C'est cadwork qui affiche la version la plus détériorée du modèle, puisqu'il supprime certains murs et certaines toitures. Le problème vient donc à la fois des informations incluses dans le fichier IFC ET du traducteur/lecteur IFC utilisé pour l'ouvrir.

Facteur 3 : profil d'export IFC

Dans ArchiCAD, il existe plusieurs traducteurs d'export IFC (voir p.56, Figure 37 : Traducteurs IFC sur ArchiCAD). Il s'agit en fait de simples fichiers « .xml » qui contiennent des informations concernant les opérations à effectuer sur un fichier au moment de l'export IFC. Les caractéristiques et possibilités sont nombreuses, elles concernent à la fois :

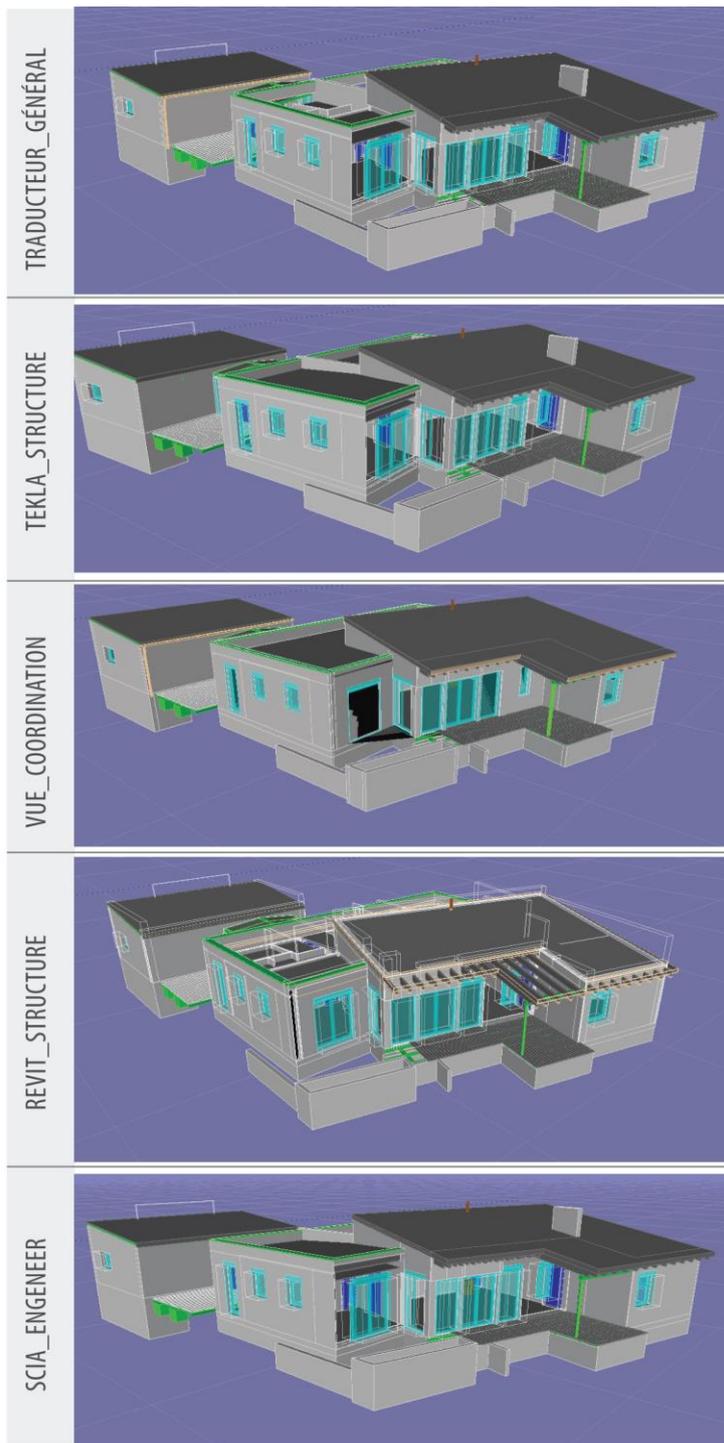
- Le type d'éléments à exporter (on peut créer un traducteur qui n'exporte que les ifc_slab, ou ifc_wall par exemple)
- Les propriétés à exporter
- Les opérations à effectuer sur la géométrie : conserver ou non les structures composites, transformer en BREP, etc.
- Les unités du modèle (mesure, angulaire, surface, volume, unité de temps, etc.)

Toutes ces caractéristiques semblent entrer en contradiction totale avec l'existence même du format IFC, qui est construit sur les dictionnaires IFD, spécifications EXPRESS et EXPRESS-G, dans lesquels toutes les unités sont précisées pour permettre cette universalité du format. (voir : p.20, Les informations contenues dans l'ifc). Ces profils ont donc deux objectifs :

- Ils agissent comme des « tamiseurs d'informations » en sortie d'ArchiCAD, pour filtrer les informations
- Ils permettent d'adapter le fichier IFC au logiciel dans lequel celui-ci va être ouvert

On peut interpréter ce second aspect comme étant une situation provisoire, un outil de débogage temporaire, utile tant que les solutions logicielles et le format IFC ne sont pas encore suffisamment matures et stables. Il s'agit pour nous d'une piste intéressante.

Dans un premier temps, pour évaluer l'impact que pouvait avoir le profil d'export sur la qualité de l'import du fichier dans cadwork, nous avons exporté le modèle 3D du projet test en utilisant certains des traducteurs prédéfinis (Fiche n°13):



Les captures d'écran ci-dessus nous permettent de mettre en évidence l'importance de l'influence du profil d'export utilisé au moment de l'enregistrement d'un fichier en IFC avec ArchiCAD.

Conclusion :

Le profil d'export IFC est le facteur qui a le plus d'influence sur la qualité du fichier importé, et également celui sur lequel il est le plus aisé d'intervenir.

Proposition d'un début de solution aux problèmes d'interopérabilité

La manière dont certains éléments sont modélisés influence la qualité du modèle importé, mais il s'agit d'un facteur sur lequel il est difficile d'intervenir. Le logiciel de lecture et le profil d'export utilisés ont également un impact sur la qualité du modèle, la piste d'amélioration la plus intéressante pour nous est donc celle du développement d'un profil d'export.

Il s'agit pour nous, en premier lieu, de paramétrer correctement les options d'export de géométrie, plus que de filtrer les informations exportées. Nous avons donc mis au moins un profil d'export qui permet à cadwork de mieux gérer le fichier IFC. Voici le fragment de ce profil qui correspond au traitement de la géométrie exportée :

```

<Exporting>
  <ElementsToExport value="Visible elements"/>
  <ViewDefinition value="Coordination view v2.0"/>
  <ExtendedModelViewName value=""/>
  <ModelUnits>
    <LengthUnit value="Millimeter"/>
    <AngleUnit value="Degree"/>
    <AreaUnit value="Square Meter"/>
    <VolumeUnit value="Cubic Meter"/>
    <CurrencyUnit value="EUR"/>
    <TimeUnit value="Year"/>
  </ModelUnits>
  <PropertiesExportMode value="All"/>
  <GeometryRepresentationOptions>
    <UseBRepGeometry value="1"/>
    <ExplodeToBuildingElementPart value="1"/>
    <ExportCollisionDetectionOnly value="0"/>
    <MultiSkinElements value="As building element parts"/>
    <SolidOperation value="BREP"/>
    <Junctions value="BREP"/>
    <SlantedEdgeSlabs value="BREP"/>
    <UseLegacyGeometricMethodsAsInCV1 value="0"/>
    <SiteProperties value="with detailed geometry (BREP)"/>
  </GeometryRepresentationOptions>
  <CalculateAreaAndVolume value="0"/>
  <ExportGeometryToTypeObjects value="0"/>
  <ExtendedProperties value="0"/>
  <SpaceBoundaries value="0"/>
  <SpaceContainment value="0"/>
  <BoundingBox value="0"/>
  <ZoneCategory value="0"/>
  <KeepExistingGUID value="1"/>
  <FileEncoding value="ANSI - for compatibility mode"/>
</Exporting>

```

Avec le profil personnalisé, la géométrie est globalement de meilleure qualité qu'avec le profil général :

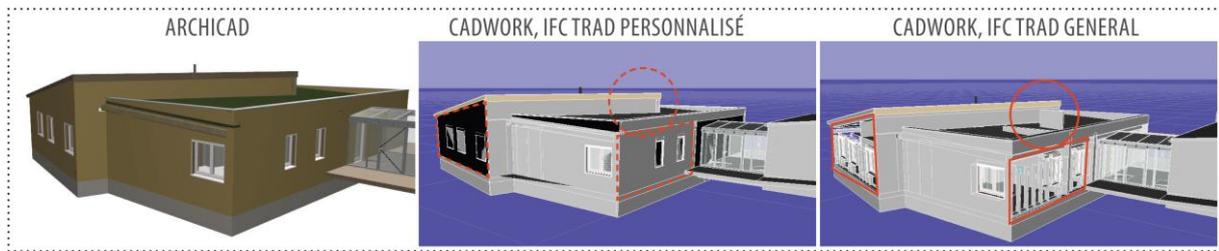


Figure 46 : Visualisations des fichiers IFC exportés avec le profil général et de notre profil personnalisé : comparatif. (voir fiche n°16)

Aucun mur n'est supprimé, aucune toiture n'est manquante. Il reste cependant un problème que nous avons identifié, mais dont nous ne parvenons pas à trouver l'origine et que nous n'arrivons pas à corriger : des surfaces apparaissent à certains endroits : il semblerait qu'il s'agisse d'une mauvaise facettisation du modèle.

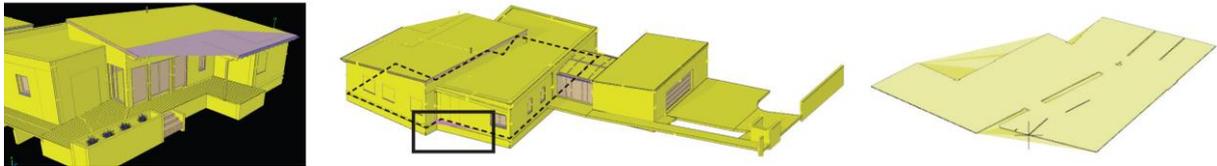


Figure 47 : visualisation des erreurs sur cadwork

Nous avons rouvert ce même fichier IFC, exporté avec notre profil d'export, dans les deux viewers que nous utilisons : Tekla Bimsight et Solibri Model Viewer :

ArchiCAD



cadwork



Solibri Model Viewer



Tekla Bimsight



Figure 48 : visualisations du fichier IFC exporté avec le profil d'export personnalisé

La géométrie est affichée tout à fait correctement sur les deux *viewers*, y compris Tekla Bimsight qui avait au départ révélé des erreurs. Le problème vient donc cette fois-ci plutôt de la manière dont cadwork interprète les informations géométriques du modèle.

Récupération et lecture des informations

Nous avons ensuite travaillé sur la manière dont les informations non géométriques sont récupérées et lues dans cadwork. Comme c'est lui qui réalise la modélisation détaillée des ossatures, le bureau d'études (B.E.) de l'entreprise de charpente n'a besoin que de peu d'informations du modèle. Il est cependant intéressant pour lui de récupérer les informations concernant le type d'élément (mur, dalle, nom de la couche ... etc.), par exemple pour les sélectionner et les grouper plus facilement. Cadwork n'intègre pas d'éléments « murs » ou « dalles » dans ses logiciels : on manipule des « barres » et des « panneaux ». L'information du type d'élément ne peut donc pas être reconnue dans le logiciel : l'information est récupérée sous forme de texte uniquement.

Lors de l'enregistrement en .3dz (format cadwork 3d) depuis l'IFC convertir de cadwork, une fenêtre d'option s'ouvre : elle nous permet de rediriger certaines informations :

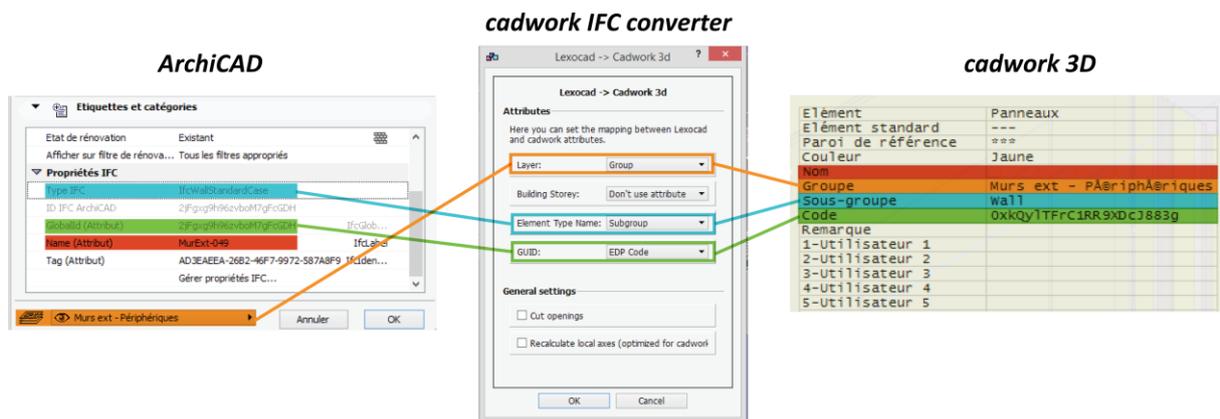


Figure 49 : redirection des informations du modèle, d'ArchiCAD vers cadwork, en passant par l'IFC convertir de cadwork.

Observations

Les informations sont bien redirigées selon le réglage de l'IFC convertir. On note une différence dans le code EDP (Global ID) entre le modèle ArchiCAD et le modèle cadwork : cette différence est due à la décomposition du mur en couches. Un identifiant ne peut être attribué qu'à un seul objet : chaque couche du mur se voit donc attribuer un nouvel identifiant lors de l'export, puisque le mur est décomposé à ce moment-là.

La seule information qui pose problème est le nom du mur, qui n'est conservé que dans certains cas sur cadwork. Sur ArchiCAD, les murs qui ont la même composition portent le même nom. On peut donc par exemple avoir plusieurs murs qui portent le nom « Mur_46 ». Cependant, lors de l'export, cette information est perdue pour certains murs. Nous n'avons pas pu identifier la raison de cette perte : les différentes couches du mur auraient pu conserver le nom du mur dont ils sont issus.

Sélection des informations à exporter

Après avoir amélioré la qualité de la géométrie importée, nous avons pu affiner les paramètres d'export pour qu'ils coïncident avec les attentes et besoins du bureau d'études de l'entreprise de charpente (voir : 54 ; 2. Modélisation du processus d'échanges à mettre en place : modèle BPMN).

Le bureau d'études nous a notamment précisé qu'il n'avait besoin que de l'épaisseur structurelle des murs et des toitures pour travailler. Les couches de finition ne leur sont d'aucune utilité.

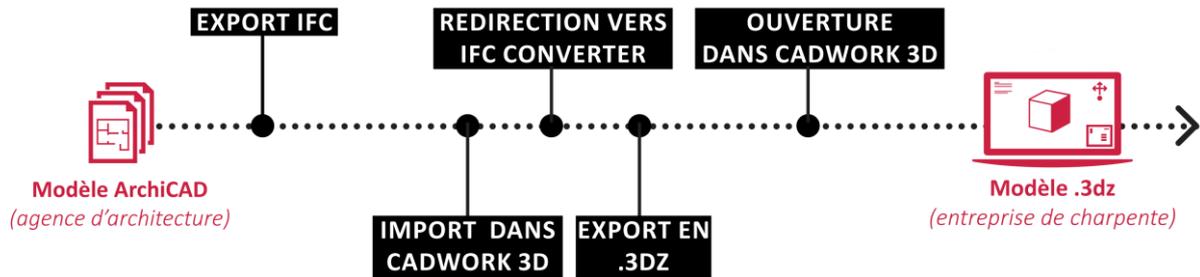


Figure 50 : Processus d'échange ArchiCAD-cadwork ; étapes envisageables pour la modification du fichier.

Lors des exports et imports, il n'est pas possible d'automatiser cette étape de suppression des couches non structurelles en utilisant un profil d'export ou d'import spécifique. Il est donc nécessaire d'effectuer cette étape avant l'export ou après l'import. En raison de la détérioration des informations contenues dans le fichier au moment de l'import dans cadwork, nous préférons effectuer cette opération dans ArchiCAD, c'est-à-dire avant l'export.

Méthode pour la sélection des couches

Dans ArchiCAD, il est possible de n'afficher que les épaisseurs structurelles des murs composites :

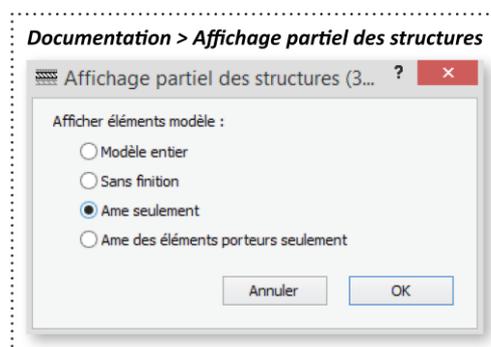


Figure 51 : réglage de l'affichage dans ArchiCAD

Cette opération n'est cependant pertinente que si les structures composites des murs ont été correctement paramétrées, et si le modèle a été rigoureusement réalisé.

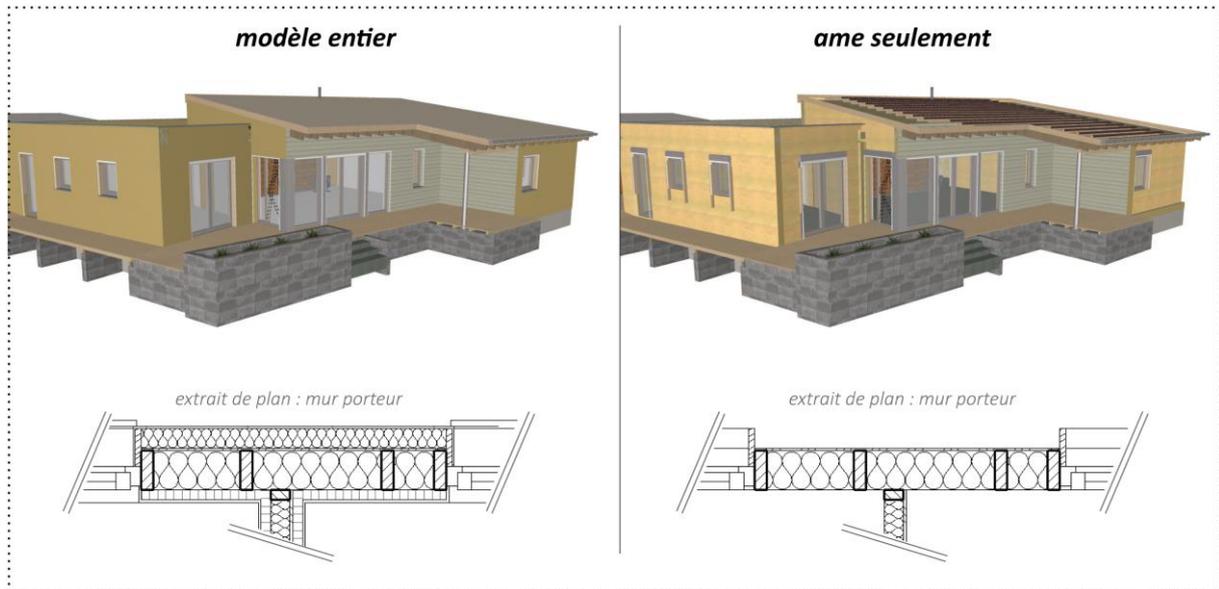


Figure 52 : Visualisation dans ArchiCAD du modèle entier et du modèle avec seulement les couches structurelles.

Avant d'effectuer l'export en IFC, les architectes devront donc afficher le modèle de cette manière afin de n'exporter que les couches structurelles utiles au bureau d'études. L'affichage des montants et des poutres devra également être désactivé afin de ne pas les exporter : c'est l'entreprise de charpente qui va les redessiner, mais pour les jonctions délicates et certains détails, elle se basera sur les plans détaillés des architectes sur lesquels les montants apparaissent, reçus en même temps que le fichier IFC.

Entretien avec l'entreprise de charpente pour faire des tests d'import

Après avoir amélioré la qualité de la géométrie, redirigé les informations correctement et restreint les informations géométriques exportées à ce qui est strictement nécessaire, nous avons pris rendez-vous avec la personne à l'entreprise de charpente qui se charge de réceptionner les fichiers des architectes. L'objectif de l'entretien était de voir de quelle manière il pourrait exploiter le fichier que nous avons réussi à obtenir.

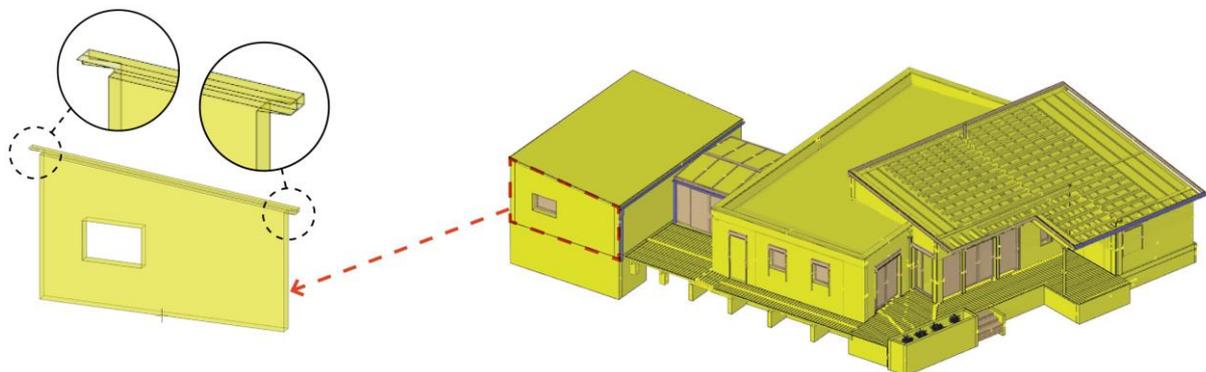


Figure 53 : Visualisation des impuretés d'une géométrie très simple

Ces impuretés rendent la géométrie importée inutilisable en l'état par le bureau d'études. Ils seront donc obligés de remodeler les volumes. Cependant, disposer d'un support 3D pour la remodelisation va leur simplifier la

tâche et probablement éviter des erreurs ; d'autant plus que la géométrie importée comporte uniquement les épaisseurs structurelles, c'est-à-dire les épaisseurs du mur qui concernent les charpentiers.

Conclusion

Après avoir identifié les facteurs qui impactent l'interopérabilité entre ArchiCAD et cadwork, nous avons réussi à trouver une solution qui permet d'importer des géométries plus propres dans cadwork. Certaines informations sont cependant détériorées lors du passage d'un logiciel à l'autre; ce problème est lié au fonctionnement même de cadwork et ne peut donc être réglé pour l'instant.

Nous avons également travaillé l'aspect optimisation du modèle : nous avons limité la géométrie exportée uniquement à ce qui est nécessaire pour les charpentiers, c'est-à-dire les couches structurelles des éléments porteurs et des toitures.

La géométrie finalement obtenue a été testée au sein du bureau d'études. Elle s'est avérée insuffisamment propre pour l'exploitation directe. Le bureau d'études de l'entreprise de charpente ne pourra donc l'utiliser que comme base de remodelisation. Il s'agit d'une solution provisoire qui fait perdre une partie des avantages du processus (c'est-à-dire le gain de temps lié à la suppression de l'étape de remodelisation). On suppose cependant que le fait de disposer une base 3D pour la modélisation va représenter un petit gain de temps par rapport à une reconstruction à partir de coupes et plans uniquement. Cette modification dans le processus devrait également permettre de limiter les erreurs de remodelisation, car le BE aura une géométrie à laquelle comparer son modèle dans cadwork. Le problème évoqué au début du mémoire sur la mauvaise interprétation de pente de toiture aurait pu être évité.

De cadwork vers ArchiCAD ?

Cette partie est traitée dans le mémoire de Marc RIBEREAU. La superposition des modèles ne se fait cependant pas directement dans ArchiCAD, mais sur un viewer : il s'agit de Tekla Bimsight, qui est un des seuls viewers gratuits qui propose la fonctionnalité de superposition de modèles et détection des clashes.

Conclusion générale

Etat d'avancement : notre proposition.

Etat d'avancement en fin de stage

Suite aux problèmes d'interopérabilité rencontrés, nous avons redéfini nos objectifs et un processus en phase avec les possibilités actuelles des logiciels qui sont utilisés dans notre cas. Le processus de modélisation et d'échanges de fichiers est moins ambitieux de celui précédemment proposé :

- Phase de conception et de modélisation chez les architectes
- Export du modèle au format IFC, en utilisant le profil personnalisé développé. Il faut exporter uniquement l'ame (la partie structurelle des murs). Envoi à l'entreprise de charpente du fichier ifc et des plans et coupes détaillés.
- Import dans cadwork; remodelisation des volumes basiques à partir de la 3D importée. Il faut conserver l'origine du repère.
- Modélisation détaillée des montants et des assemblages au bureau d'études.
- Export de l'ifc depuis cadwork. Envoi aux architectes des plans à viser et du fichier ifc.
- À l'agence d'architecture : utilisation de Tekla Bimsight pour superposer les géométries.

Critique de la méthode utilisée et de l'expérimentation

Entre théorique et pratique

Les deux premières parties de notre travail revêtaient un aspect plus théorique. Nous avons abordé par exemple les pratiques collaboratives et l'aspect psychologique de l'intégration de nouvelles technologies dans les pratiques. Nous avons intégré autant que possible ces connaissances acquises dans la méthode proposée, mais la partie expérimentale était centrée presque uniquement sur les problèmes d'interopérabilité. La partie théorique était donc à ce niveau relativement déconnectée de la réalité de l'expérimentation.

Démarche qualité et vérification du modèle

Dans la méthode que nous avons proposée, nous n'avons pas pu intégrer une « démarche qualité » sur le modèle avant le partage de l'ifc. C'est-à-dire que la qualité du modèle va être vérifiée au moment de l'import. Le P.E.P.G. prévoyait un formulaire de vérification des informations du modèle. Cela nous a semblé laborieux et aurions souhaité intégrer dans le processus un viewer qui aurait pu réagir comme cadwork pour révéler le même type d'erreurs. Tekla aurait pu jouer ce rôle, mais comme nous l'avons constaté, les erreurs ne se manifestaient pas de la même manière que dans cadwork.

Un objectif revu à la baisse

Les problèmes d'interopérabilité nous ont poussés à revoir nos objectifs et intentions à la baisse. Ainsi, un des arguments principaux de la démarche, qui était supposé résoudre le problème de la redondance de la modélisation générale du projet, n'est plus valable. Nous faisons l'hypothèse que le fait de disposer d'une base

3D pour la première modélisation générale du bâtiment constitue un gain de temps et un gain en fiabilité. Nous n'avons cependant pas pu expérimenter le processus complet avec l'entreprise de charpente, par manque de temps.

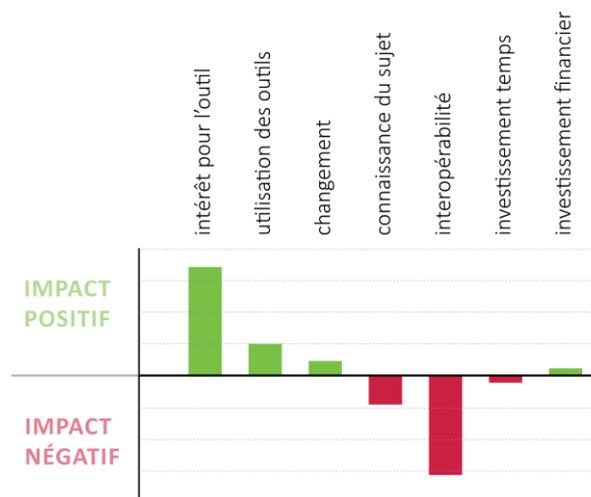
Risques et responsabilités

Nous avons identifié les risques et inconvénients que peut générer ce nouveau processus d'échange par rapport au précédent :

- Les partenaires échangent plus de fichiers. Cela signifie que si un problème est détecté sur l'un d'entre eux (le fichier ifc en particulier), ils devront multiplier les échanges jusqu'à ce que le problème soit réglé. Si un problème persiste donc à ce niveau, le processus est une perte de temps (qui peut néanmoins être compensée par le gain de temps à suivre)
- Si une erreur est présente sur le fichier des architectes, et que les charpentiers la reprennent sans la détecter, quelle est la part de responsabilité qu'endosse chacun ? Il est important pour les deux acteurs de s'accorder sur ce point pour éviter les conflits qui pourraient émaner de ce type d'erreurs.

Le BIM in situ : retour sur notre expérience

Au début de notre travail, nous citons les différentes limites identifiées du BIM (p.31, Des difficultés et verrous multiples) ; nous avons par ailleurs eu l'occasion d'en expérimenter quelques-unes.



L'intérêt de l'agence pour l'outil et les échanges a dans notre cas eu un impact très positif : c'est la raison initiatrice de l'expérience. Nous avons également vu l'intérêt de l'entreprise de charpente pour les échanges s'amplifier au cours de l'avancée de l'expérience et au fur et à mesure que les questions devenaient plus concrètes.

C'est l'interopérabilité entre ArchiCAD et cadwork qui nous a posé le plus de problèmes. Cadwork propose un module d'export et d'import ifc qui est toujours en développement, qui n'est pour l'instant pas tout à fait au point. Le module d'export d'ArchiCAD semble être de bonne qualité, mais les géométries exportées étaient également parfois détériorées selon les lecteurs utilisés. Les deux logiciels ont encore du chemin à parcourir avant d'être totalement opérationnels concernant l'ifc.

Notre **connaissance du sujet** était dans un premier temps peu approfondie : notre mise à niveau, la découverte du fonctionnement de cadwork et des options ifc dans ArchiCAD nous ont demandé beaucoup d'investissement en temps. Cela met en évidence les **carences de manière générale dans l'enseignement des logiciels de CAO** et souligne **la nécessité d'une refonte des programmes** pour les adapter aux besoins actuels et mieux préparer les futurs professionnels aux enjeux d'avenir.

Comme nous l'avons évoqué au début du document, le développement des échanges demande **un effort** considérable aux agences, à la fois sur le plan économique et en temps. **La configuration du double stage** (un étudiant à l'agence et l'autre en laboratoire) était censée permettre à l'agence de diminuer cet investissement. Cet objectif est atteint : l'investissement en temps a été limité par rapport à une démarche interne uniquement, et l'investissement économique a été effectivement compensé par la production en agence.

Retour sur la configuration « double stage » et la recherche en agence

Nous avons constaté qu'il était très difficile pour l'étudiant qui restait à l'agence de dégager du temps pour la partie recherche et la modélisation du projet exemple. La plupart du temps, il était occupé par la production de l'agence, qui est prioritaire et qui prend donc le dessus sur l'activité de recherche. Les agences travaillent aujourd'hui à flux tendu ; elles disposent de peu de temps « libres » à consacrer à d'autres types de travaux.

Nous restons donc prudents concernant les problématiques de recherche en agence : notre travail met en avant ses avantages, mais également ses travers.

Conclusion personnelle

Avant d'intégrer le mastère spécialisé A.M.E. (Architecture, Modélisation, Environnement), j'étais sensible aux outils numériques et aux questions que soulève leur utilisation au sein des agences d'architecture. Le mastère m'a cependant permis d'acquérir des connaissances supplémentaires et une base théorique, notamment en ce qui concerne les échanges de fichiers, le format IFC, et toutes les questions relatives au BIM. Le fait de manipuler une maquette numérique et de la questionner de manière concrète comme nous l'avons fait au cours du stage m'a permis d'intégrer les notions théoriques évoquées. Dans un cursus classique en école d'architecture, ces thèmes ne sont presque pas abordés ; cela signifie que la formation présente des carences à ce niveau. Cela met en exergue la nécessité de financer la recherche dans le domaine (également pour former de nouveaux spécialistes), de créer de nouveaux postes enseignants ouverts aux spécialistes du sujet, et d'adapter les programmes dans les écoles.

Je suis convaincue que les questions abordées dans ce travail concernant le BIM sont des enjeux d'avenir. J'ai pris conscience des difficultés auxquelles on peut être confronté lorsqu'on les manipule. Je conçois tout à fait que le BIM puisse effrayer un certain nombre d'architectes qui se sentent dépossédés d'une partie de leur maîtrise du projet d'architecture en partageant une maquette numérique. Mais malgré leurs réticences, les architectes doivent se confronter à ces questions : leur voix doit être entendue et leurs intérêts représentés.

Notes de Références

Bim : références générales

ARANDA-MENA, Guillermo, CRAWFORD, John, CHEVEZ, Agustin et FROESE, Thomas. Building information modelling demystified: does it make business sense to adopt BIM? International Journal of Managing Projects in Business. 2009, Vol. 2, no 3, p. 419–434

ARTHAUD, Geoffrey. Apports de modèles de comparaison structurelle et sémantique à la synchronisation de la maquette numérique de construction. thèse en Mathématiques et informatique. 2007

AZHAR, Salman. Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. Leadership and Management in Engineering [en ligne]. 2011. [Consulté le 15 juillet 2015]. Disponible à l'adresse : [http://ascelibrary.org/doi/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](http://ascelibrary.org/doi/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)

BIM Task Group | A UK Government Initiative [en ligne]. [Consulté le 24 avril 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.bimtaskgroup.org/>

CELNIK, Olivier, LEBÈGUE, Éric et NAGY, Guersendre. BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction. Paris; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 2014. ISBN 9782212138368 2212138369 9782868916136 2868916139

COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM. BIM Project Execution Planning Guide – Version 2.0. University Park, PA, USA : The Pennsylvania State University, juillet 2010

BIM Task Group | A UK Government Initiative [en ligne]. [Consulté le 24 avril 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.bimtaskgroup.org/>

Data Modelling Using EXPRESS-G for IFC Development - EXP-G - Guide STANFORD.pdf [en ligne]. [Consulté le 1 avril 2015]. Disponible à l'adresse : http://plm.ecp.fr/ap242_documents/EXP-G%20-%20Guide%20STANFORD.pdf

History | buildingSMART [en ligne]. [Consulté le 31 mars 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.buildingsmart.org/about/about-buildingsmart/history-2/>

MEDI@CONSTRUCT, eXpertise, la newsletter du BIM n°37, Avril 2011 [en ligne]. [Consulté le 16 avril 2015]. Disponible à l'adresse : http://www.untec.com/untec/pdf/12881_eXpertise37.pdf

PRE-Results-Report.pdf [en ligne]. [Consulté le 20 juillet 2015]. Disponible à l'adresse : <http://rymreport.com/pre/wp-content/uploads/2014/09/PRE-Results-Report.pdf>

Project Building Information Modeling Protocol Form, AIA, 2013 [en ligne]. [Consulté le 15 avril 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiab099086.pdf>

SCHEVERS, Hans, MITCHELL, John, AKHURST, Paul, MARCHANT, David, BULL, Stuart, MCDONALD, Kevin, DROGEMULLER, Robin et LINNING, Chris. Towards digital facility modelling for Sydney opera house using IFC and semantic web technology. ITcon. 2007, Vol. 12, p. 347–362

SÉMINAIRE DE CONCEPTION ARCHITECTURALE NUMÉRIQUE, KUBICKI, Sylvain, HALIN, Gilles, BIGNON, Jean-Claude, CENTRE DE RECHERCHE PUBLIC HENRI TUDOR (LUXEMBOURG) et MODÈLES ET SIMULATION POUR L'ARCHITECTURE ET LE PATRIMOINE-CENTRE DE RECHERCHE EN ARCHITECTURE ET INGÉNIERIE (NANCY) (dir.). Interaction(s) des maquettes numériques: actes du 6ème Séminaire de conception architecturale numérique, [Luxembourg, 18-20 juin 2014]. Nancy : PUN-Éd. universitaires de Lorraine, 2014. ISBN 9782814301719 2814301713

SUCCAR, Bilal. Building Information Modelling: conceptual constructs and performance improvement tools. Thèse, 2013.

YAN, Han et DAMIAN, Peter. Benefits and barriers of building information modelling. Dans : 12th International conference on computing in civil and building engineering. Vol. 161 [en ligne]. 2008. [Consulté le 15 juillet 2015]. Disponible à l'adresse : http://homepages.lboro.ac.uk/~cvpd2/PDFs/294_Benefits%20and%20Barriers%20of%20Building%20Information%20Modelling.pdf

9 mai 2014 – Le Moniteur n° 5763 – Cahier détaché n° 2 [en ligne]. [Consulté le 15 avril 2015]. Disponible à l'adresse : http://www.syntec-ingenierie.fr/media/uploads/guides_etudes/2014_05_09_cahier_moniteur_bim.pdf

Comportementalisme et sciences sociales

AJZEN, Icek. The theory of planned behavior. Organizational behavior and human decision processes. 1991, Vol. 50, no 2, p. 179–211

ALBARRACIN, Dolores, JOHNSON, Blair T., FISHBEIN, Martin et MUELLERLEILE, Paige A. Theories of reasoned action and planned behavior as models of condom use: a meta-analysis. Psychological bulletin. 2001, Vol. 127, no 1, p. 142

BAGOZZI, Richard P., DAVIS, Fred D. et WARSHAW, Paul R. Development and test of a theory of technological learning and usage. Human relations. 1992, Vol. 45, no 7, p. 659–686

BURNES, Bernard. Kurt Lewin and the Planned Approach to Change: A Re-appraisal. septembre 2004. ISBN 0022-2380

DAVIS, Fred D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS quarterly. 1989, p. 319–340.

GLESS, Henri-Jean. Création d'un serious game en vue d'une introduction aux pratiques collaboratives. Mémoire de fin d'études, 2014.

GUERRIERO, Annie. La représentation de la confiance dans l'activité collective. Thèse, 2009.

ORLIKOWSKI, Wanda J. Using technology and constituting structures: A practice lens for studying technology in organizations. Organization science. 2000, Vol. 11, no 4, p. 404–428

TÉTARD, Franck et COLLAN, Mikael. Lazy user theory: A dynamic model to understand user selection of products and services. Dans : System Sciences, 2009. HICSS'09. 42nd Hawaii International Conference on [en ligne]. IEEE, 2009, p. 1–9. [Consulté le 21 juillet 2015]. Disponible à l'adresse : http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4755755

VENKATESH, Viswanath. Determinants of perceived ease of use: Integrating control, intrinsic motivation, and emotion into the technology acceptance model. Information systems research. 2000, Vol. 11, no 4, p. 342–365

Pratiques métier et domaine du bâtiment

Activité : Définition dans le dictionnaire - Linternaute [en ligne]. [Consulté le 22 avril 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/activite/>

CONSTANTINE, Larry L and LOCKWOOD, Lucy A. D. Software for use: a practical guide to the models and methods of usage-centered design. Boston, MA : Addison Wesley, 1999. ISBN 9780321773722 0321773721

HANSER, Damien. Proposition d'un modèle d'auto coordination en situation de conception, application au domaine du bâtiment. Thèse, 2003.

MALCURAT, Olivier. Contribution au développement d'un outil d'assistance à l'ingénierie concourante dans le domaine de l'architecture et du BTP. Thèse, 2002.

Modélisation de processus — Wikipédia [en ligne]. [Consulté le 24 mars 2015]. Disponible à l'adresse : http://fr.wikipedia.org/wiki/Mod%C3%A9lisation_de_processus

ZIGNALE, Daniel. Concevoir des services collaboratifs adaptés à des pratiques métiers : une méthode centrée usages. Thèse, 2013.

Notions informatiques

About gbXML - Green Building XML Schema [en ligne]. [Consulté le 16 avril 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.gbxml.org/aboutgbxml.php>

Basic Informations - Ifc [en ligne]. [Consulté le 31 mars 2015]. Disponible à l'adresse : http://www.ifcwiki.org/index.php/Basic_Informations

CAMPEDEL OUDOT, Marine et HOOGSTOËL, Pierre. Sémantique et multimodalité en analyse de l'information. Paris : Hermès science publ. : Lavoisier, 2011. ISBN 9782746231399 2746231395

Data Modelling Using EXPRESS-G for IFC Development - EXP-G - Guide STANFORD.pdf [en ligne]. [Consulté le 1 avril 2015]. Disponible à l'adresse : http://plm.ecp.fr/ap242_documents/EXP-G%20-%20Guide%20STANFORD.pdf

Gehry Technologies, Digital Project [en ligne]. [Consulté le 20 juillet 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.gehrytechnologies.com/en/products/>

ISO 16739:2013 - Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries [en ligne]. [Consulté le 31 mars 2015]. Disponible à l'adresse : http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=51622

Les classes (Partie 1/2) [en ligne]. [Consulté le 1 avril 2015]. Disponible à l'adresse : <http://openclassrooms.com/courses/programmez-avec-le-langage-c/les-classes-partie-1-2>

OMG UML [en ligne]. [Consulté le 25 mars 2015]. Disponible à l'adresse : http://www.omg.org/gettingstarted/what_is_uml.htm

Open Standards 101 | buildingSMART [en ligne]. [Consulté le 29 mars 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.buildingsmart.org/standards/technical-vision/open-standards-101/>

Start Page of IFC2x3 Final Documentation [en ligne]. [Consulté le 31 mars 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/index.htm>

Textes officiels

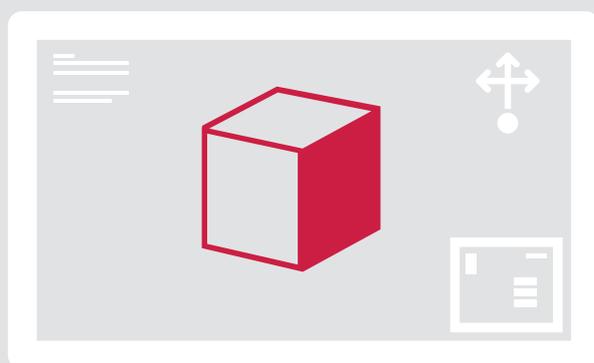
DELCAMBRE, Bertrand. Rapport Mission Numérique Bâtiment. décembre 2014.

Décret n°93-1268 du 29 novembre 1993 relatif aux missions de maîtrise d'oeuvre confiées par des maîtres d'ouvrage publics à des prestataires de droit privé | Legifrance [en ligne]. [Consulté le 15 avril 2015]. Disponible à l'adresse : <http://legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006067890&dateTexte=20150415>

Loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'oeuvre privée. | Legifrance [en ligne]. [Consulté le 15 avril 2015]. Disponible à l'adresse : <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000693683>

Loi n° 2004-575 du 21 juin 2004 pour la confiance dans l'économie numérique | Legifrance [en ligne]. [Consulté le 31 mars 2015]. Disponible à l'adresse : <http://legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000801164&dateTexte=&categorieLien=id>

ANNEXE : Fiches de tests concernant les échanges IFC



Mémoire de Master Design Global
Spécialité Architecture Modélisation et Environnement.

Elodie HOCHSCHEID, Marc RIBEREAU-GAYON.

Sous la direction de : Mohamed Anis Gallas, Damien Hanser, Olivier Malcurat.

Soutenu le 23 Septembre 2015.

OBJECTIFS DU TEST :

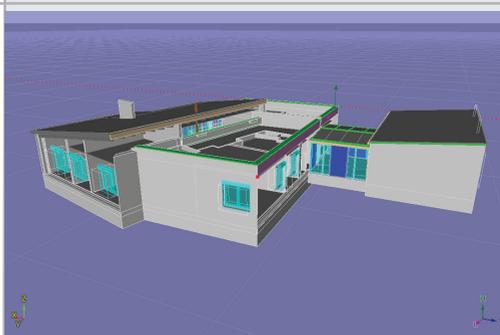
Vérifier que les imports de base s'effectuent correctement.

TEST N°

1

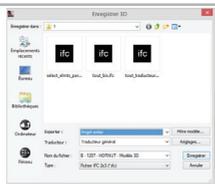
ARCHICAD

CADWORK



Type fichier export :

Fichier de la maison, avec tout.
Profil d'export : général.



Observations :

Message d'erreur à l'export, et dans l'import dans cadwork, pas de message d'erreur, mais il y a des murs et des dalles manquants. Les murs manquants semblent pourtant identiques à d'autres qui ont bien été importés.

Lorsqu'on réexporte avec les mêmes configurations et que l'on réimporte, les erreurs sont exactement les mêmes : les éléments manquants dans le premier cas restent manquants dans le second.

Essayons d'exporter uniquement les murs, voire uniquement les murs qui n'ont pas été exportés.



Résultat, résumé et analyse :

Lorsqu'on exporte avec les paramètres de base, des éléments manquent à l'import. Mais c'est bien à l'export qu'un message d'erreur se produit : l'erreur semble venir d'ArchiCAD.

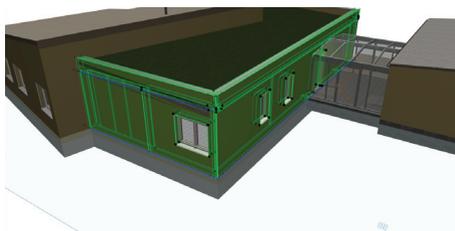
OBJECTIFS DU TEST :

Voir si les murs manquants dans le test n° 1 restent manquants.

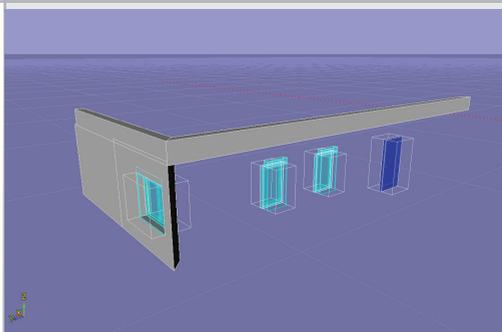
TEST N°

2

ARCHICAD



CADWORK



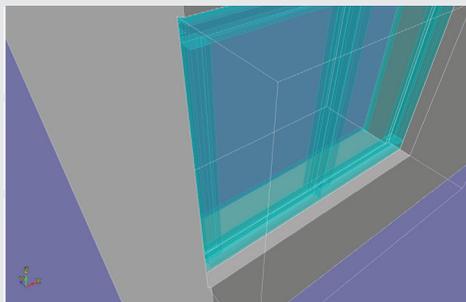
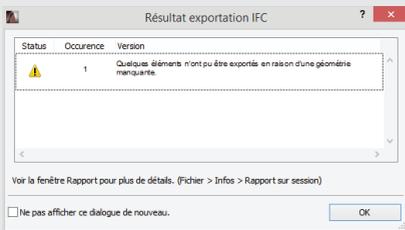
Type fichier export :

Fichier de la maison, avec uniquement la sélection profil d'export : général.



Observations :

Les murs ne sont toujours pas exportés, mais ArchiCAD n'a pas indiqué de message d'erreur à l'export. Mais lorsque le message survenait, il indiquait un problème de géométrie; or dans le coin du mur testé, la fenêtre entre dans le mur.



Résultat, résumé et analyse :

Les murs qui ne peuvent être importés lorsqu'on exporte la totalité du modèle ne sont pas non plus importés à part : le problème semble venir de ces éléments, et non de leur nombre.

OBJECTIFS DU TEST :

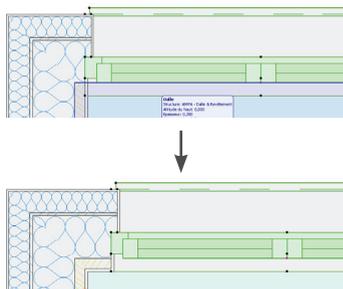


Voir si lorsque la fenêtre n'entre pas dans le mur cela fonctionne.

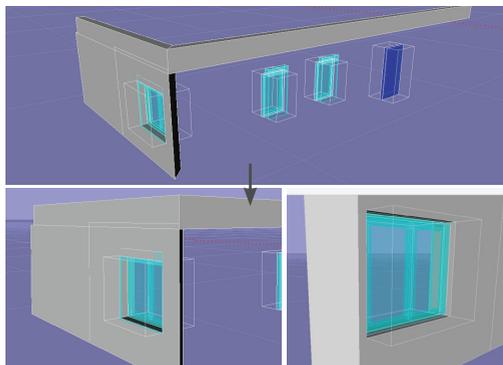
TEST N°

3

ARCHICAD



CADWORK



Fichier de la maison, avec uniquement la sélection profil d'export : général.



Les murs ne sont toujours pas acceptés : effectuons des tests en recréant un mur avec une collision sur une fenêtre, le problème vient peut-être de la verrière.

Résultat, résumé et analyse :

Les murs qui ne peuvent être importés lorsqu'on export la totalité du modèle ne sont pas non plus importés à part : le problème semble venir de ces éléments, et non de leur nombre.

OBJECTIFS DU TEST :



Voir si le mur manquant du test précédent est toujours manquant lorsqu'il n'est pas en lien avec la véranda.

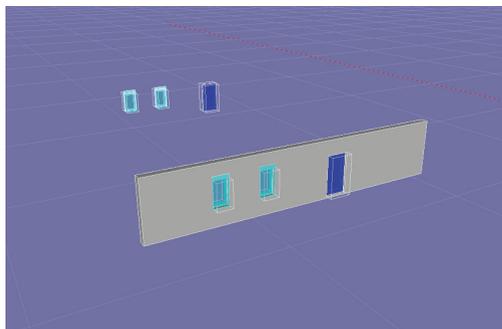
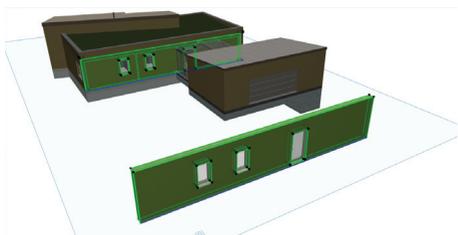
TEST N°

4

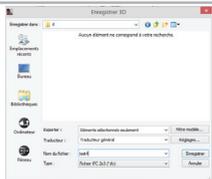
ARCHICAD



CADWORK



Juste les deux murs sélectionnés, profil d'export de base. Nous avons copié collé le mur qui pose des problèmes.



Le mur qui est intégré au projet n'a pas été exporté, alors que celui qui a été copié collé a été bien exporté.

Résultat, résumé et analyse :

Il semble que ce soit une jonction qui pose problème.

OBJECTIFS DU TEST :



Le mur testé a subi un certain nombre d'opérations sur les solides. L'objectif de ce test est de déterminer si l'un d'entre eux est la source du bogue.

TEST N°

5

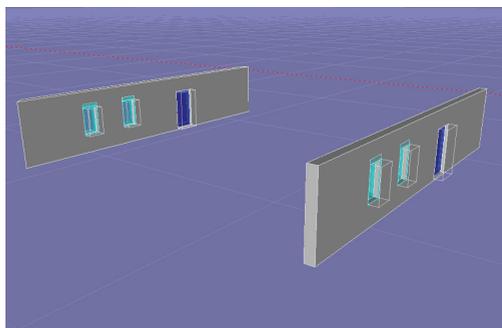
ARCHICAD



CADWORK



 **Tailler**
 Raccordé par Toit-04
 **Opérations éléments solides**
 Soustraire cible de Dalle-0 11
 Soustraire cible de Dalle-0 11
 Soustraire cible de MurExt-084



Juste les deux murs sélectionnés : le mur test ainsi que le mur référence. Toutes les combinaisons d'opérations sur les solides ont été testées

Il semble que toutes les opérations sur les solides créent ce bogue à l'import. Il suffit qu'il n'en reste qu'une seule pour que le mur ne s'importe pas. En revanche, lorsque toutes les opérations sur les solides sont supprimées, les deux murs s'importent correctement.

Résultat, résumé et analyse :

Les opérations d'éléments solides créent des problèmes à l'import.

OBJECTIFS DU TEST :



Voir comment réagissent d'autres logiciels par rapport au fichier du test n° 1 ici, Tekla Bimsight.

TEST N°

6

ARCHICAD

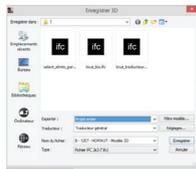


TEKLA BIMSGHIT



Type fichier export :

Fichier de la maison, avec tout.
Profil d'export : général.



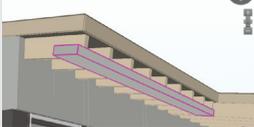
Observations :

Après le test précédent (n° 5) dans lequel nous avons remarqué le problème que posaient les opérations éléments solides à l'import sur cadwork, nous avons souhaité tester cette composante sur d'autres logiciels. Sur Tekla Bimsight, toutes ces opérations sont automatiquement supprimées. Le modèle apparaît donc complet, et aucun élément ne manque, mais la suppression de ces opérations a modifié les géométries initiales. Plus grave encore, il arrive parfois qu'on utilise, lors de la modélisation sur ArchiCAD, des éléments qui sont destinés uniquement à réaliser des opérations sur les solides, on cache ensuite ces éléments. Ici, non seulement les opérations sont annulées, mais les opérateurs apparaissent. (voir ci-contre). On remarque également que sur Tekla, les murs qui se rejoignent à 90° ne sont pas coupés à 45 pour permettre la jonction et non-superposition : ils se superposent.

vue ArchiCAD



vue Tekla Bimsight



Résultat, résumé et analyse :

Tekla Bimsight semble supprimer les opérations qui posent des problèmes dans les IFC. Les opérations sur les solides en font partie. Alors qu'elles empêchent de visualiser certains éléments, TeklaBimsight modifie leur géométrie en supprimant les opérations pour pouvoir afficher la totalité des éléments.

OBJECTIFS DU TEST :

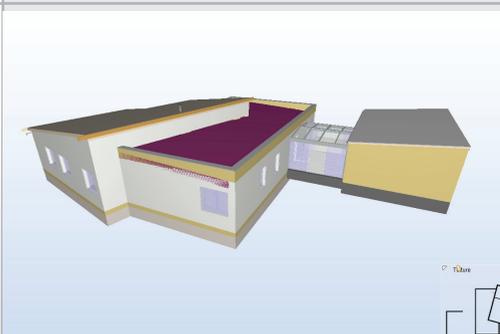
vérifier la visualisation du modèle sur Solibri
model viewer

TEST N°

7

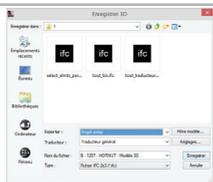
ARCHICAD

SOLIBRI MODEL VIEWER



Type fichier export :

Fichier de la maison, avec tout.
Profil d'export : général.



Observations :

Sur SMC, la totalité des murs est visible, tout comme sur Tekla, mais les connecteurs ont l'air d'avoir mieux fonctionné : les murs ne dépassent pas et les connecteurs n'ont pas été supprimés par le logiciel. Il reste cependant un certain nombre d'erreurs :

- des jonctions de murs (1) absentes, sur Tekla les murs se superposaient dans les angles
- en (2) un mur qui n'a pas été limité par la toiture sur Solibri alors qu'il l'a bien été sur ArchiCAD
- en (3) un mur qui ne descend pas jusqu'à la toiture alors qu'il est implanté plus bas sur ArchiCAD
- En (4), comme sur Tekla, les opérateurs masqués apparaissent.



Résultat, résumé et analyse :

Même s'il reste un certain nombre d'erreurs, il semblerait que ce soit Solibri qui permette le mieux de visualiser le projet. Il faudrait voir s'il permet d'exporter une nouvelle version du format IFC, « corrigée » pour cadwork.

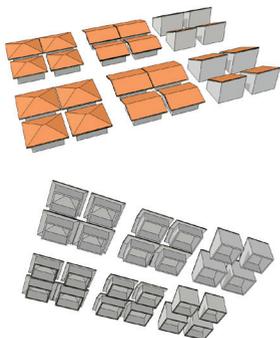
OBJECTIFS DU TEST :

Trouver l'origine des problèmes de jonction de toiture, pour tenter de déterminer les bonnes pratiques concernant la modélisation des murs qui sont connectés à des toitures.
OBJET : MURS ET TOITURE ORTHOGONAUX.

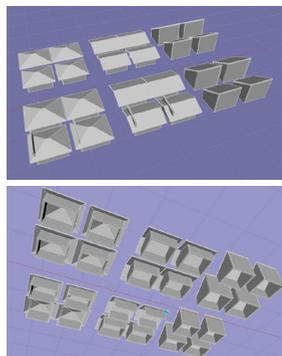
TEST N°

8

ARCHICAD



CADWORK



Voir rapport pour détail des éléments testés et analyse des résultats. (profil d'export : traducteur général)

							
							
<i>Murs Struct. composite</i>							
							
<i>Murs Struct. simple</i>							
							

LÉGENDE

Sens de création des murs

 horaire antihoraire

Sens de création des toitures

 horaire antihoraire

Résultats

 valide mur(s) manquant(s) mur(s) qui dépasse(nt) mur(s) manquant(s) et mur(s) qui dépasse(nt)

Résultat, résumé et analyse :

Il semblerait que pour des murs orthogonaux (parallèles et perpendiculaires aux axes X et Y), le sens du tracé conditionne la validité ou non du fichier ifc exporté. Sauf que lorsqu'on change le sens du dessin des murs sur ArchiCAD, les murs apparaissent à l'envers : la couche qui est censée être à l'intérieur (plaque de placoplâtre par exemple) se retrouve sur le côté extérieur: il faudrait alors redéfinir un mur composite, avec les mêmes couches, dans le sens inverse.

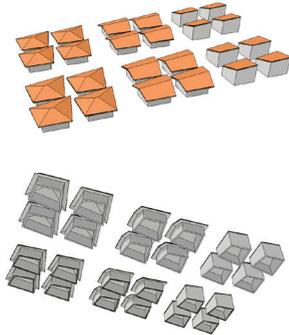
OBJECTIFS DU TEST :

Trouver l'origine des problèmes de jonction de toiture, pour tenter de déterminer les bonnes pratiques concernant la modélisation des murs qui sont connectés à des toitures.

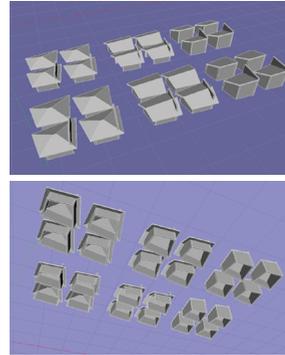
OBJET : MURS ET TOITURE NON ORTHOGONAUX.



ARCHICAD



CADWORK



Voir rapport pour détail des éléments testés et analyse des résultats. (profil d'export : traducteur général)

Murs Struct. composite							
Murs Struct. simple							

LÉGENDE

Sens de création des murs

- horaire
- antihoraire

Sens de création des toitures

- horaire
- antihoraire

Résultats

- valide
- mur(s) manquant(s)
- mur(s) qui dépasse(nt)
- mur(s) manquant(s) et mur(s) qui dépasse(nt)

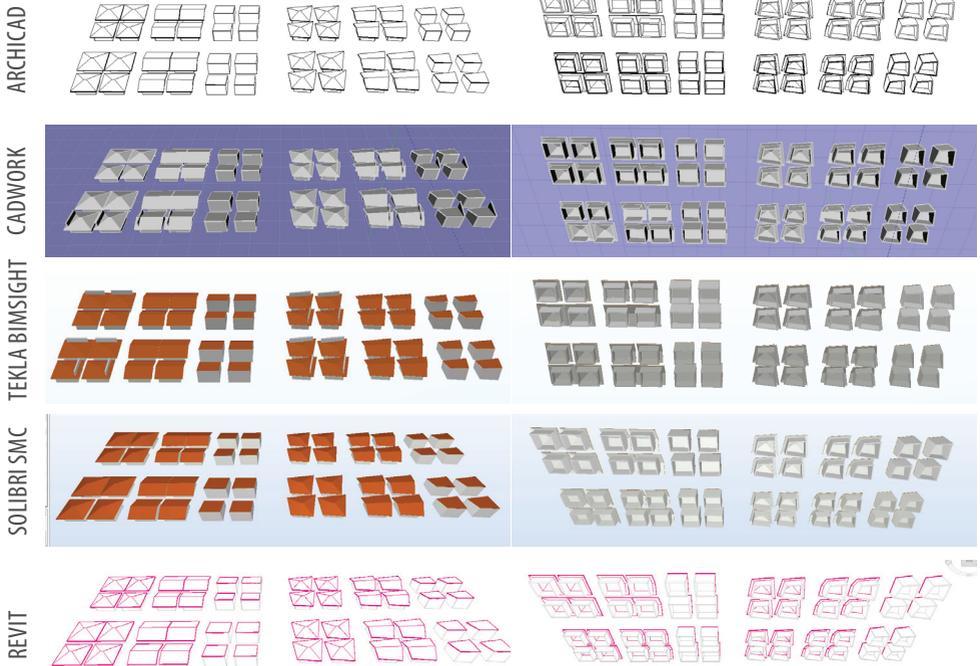
Résultat, résumé et analyse :

Il semblerait que pour des murs non orthogonaux, le sens du tracé des murs ait une forte influence sur la validité du fichier ifc sur cadwork. Pour les structures simples, aucun problème n'a été rencontré lorsqu'on trace les murs périphériques dans le sens horaire. Pour les murs composites, aucun des deux sens de dessin ne permet d'éviter tous les problèmes, il faudra donc choisir la solution la moins préjudiciable pour l'entreprise de charpente.

OBJECTIFS DU TEST :



Utiliser le fichier test créé pour les tests 8 et 9 pour vérifier la visualisation de celui-ci sur d'autres logiciels. Le but est de voir s'il existe un moyen de lire le fichier tel qu'il a été exporté sur ArchiCAD.



Sur ce second test de comparaison de visualisations de l'ifc exporté depuis ArchiCAD, certains murs sont supprimés sur cadwork, et apparaissent sans connexion à la toiture sur Tekla. Solibri est le viewer qui permet de visualiser l'IFC de la manière la plus fidèle par rapport au fichier ArchiCAD de départ. Revit, lui, affiche tous les murs et toutes les toitures correctement, mais masque les toitures à l'import.

Résultat, résumé et analyse :

Il y a donc bien deux logiciels qui permettent de visualiser ces toitures tout à fait correctement. Même si le fichier ifc semble être écrit différemment selon les différents paramètres testés, le logiciel sur lequel le fichier est importé peut permettre de le lire correctement.

OBJECTIFS DU TEST :



Visualiser la première version du fichier ArchiCAD de Marc du projet test, pour évaluer les différents problèmes rencontrés, et en trouver la provenance.

TEST N°

11

ARCHICAD		
CADWORK (IC)		<p>Sur un même fichier IFC, récupéré sur quatre logiciels différents, on observe différents problèmes. Solibri Model Viewer est celui qui permet de visualiser le fichier de la manière la plus proche du fichier ArchiCAD de départ. Les autres visualisations ont toutes un problème, mais ce sont systématiquement les mêmes objets qui posent problème. Sur certains logiciels (cadwork) ils sont supprimés, alors que sur Tekla et Revit ces mêmes murs ne sont plus connectés aux toitures et dépassent.</p>
TEKLA BIMSLIGHT		<p>Revit qui réagissait plutôt bien pour le fichier test permet d'avoir une visualisation très similaire à celle de Tekla pour la maison test. Cela signifie que d'autres paramètres entrent en compte, et appuie l'observation précédente de stabilité de Solibri.</p>
SOLIBRI (SMC)		
REVIT		

Résultat, résumé et analyse :

Les différents viewers ne réagissent pas tout à fait de la même manière avec le fichier test (du test 9) qu'avec le fichier de la maison, plus complexe. La différence est notamment importante sur Revit.

OBJECTIFS DU TEST :



comparer les deux tableaux de résultats obtenus, pour les murs orthogonaux, et non-orthogonaux.

plan orthogonal

							
							
<i>Murs Struct. composite</i>							
							
<i>Murs Struct. simple</i>							
							

plan non orthogonal

							
							
<i>Murs Struct. composite</i>							
							
<i>Murs Struct. simple</i>							
							

Résultat, résumé et analyse :

voir détail dans le mémoire. De manière générale, les plans pour lesquels les murs ne sont pas orthogonaux posent plus de problèmes que les murs droits.

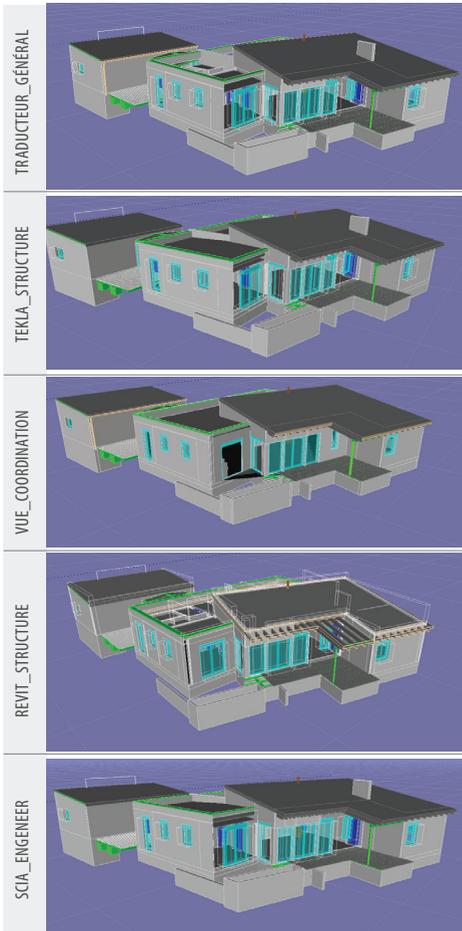
OBJECTIFS DU TEST :



Tester les différents profils d'exports IFC ArchiCAD, et évaluer la manière dont cadwork réagit aux différents fichiers créés.

TEST N°

13



Avec presque tous les profils d'export, certaines géométries sont manquantes (murs/toits). Il s'agit des géométries précédemment identifiées : c'est à dire celles qui ont subi une opération sur les solides (mur/toit). On note cependant la propreté du modèle importé dans cadwork après avoir été exporté avec un profil «vue coordination». Après un nettoyage rapide, la vue est presque intacte, ce ne sont cependant pas des volumes qui sont importés, mais des surfaces.

Résultat, résumé et analyse :

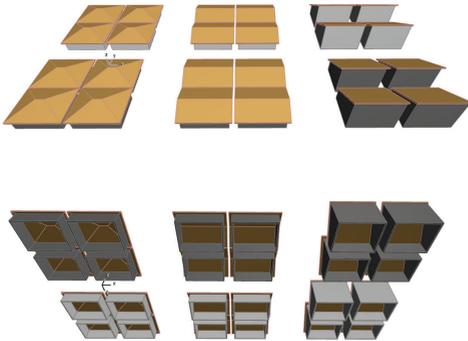
La géométrie importée de la manière la plus «propre» visuellement est celle qui a été exportée avec un profil d'export «vue coordination», qui ne conserve malheureusement pas l'intégrité de la géométrie : il ne s'agit que de surfaces, mais cela pourrait être une alternative provisoire intéressante dans notre cas. Nous notons par ailleurs l'importance du profil d'export concernant la qualité de la géométrie importée.

OBJECTIFS DU TEST :

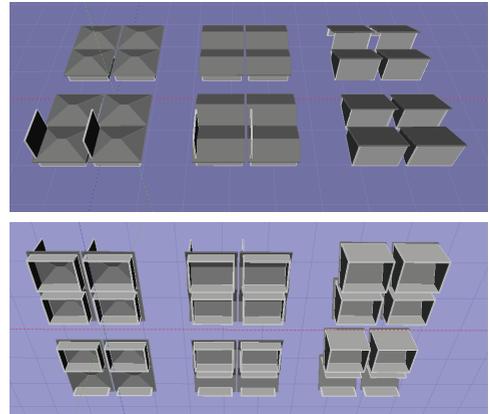


Tester notre profil d'export personnalisé,
le comparer avec le traducteur général
d'ArchiCAD.

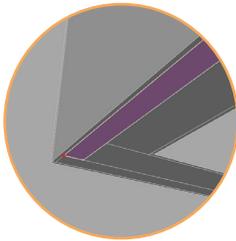
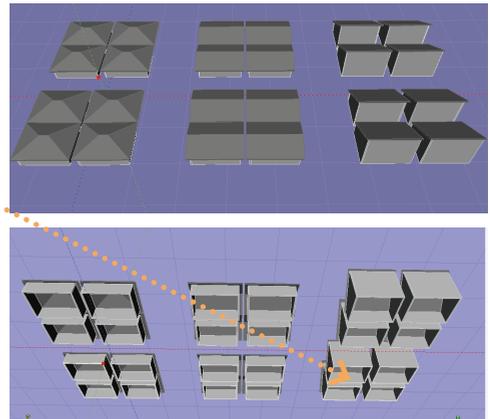
ARCHICAD



CADWORK, IFC TRAD GENERAL



CADWORK, IFC TRAD PERSONNALISÉ



La personnalisation du profil semble fonctionner : les défauts observés dans cadwork lorsque l'IFC est exporté avec le traducteur général ne sont plus observés lorsque le profil personnalisé est utilisé. On note que les éléments du mur composite ont bien été enregistrés en éléments de construction, mais cadwork les importe toutes de la même couleur. Sur Tekla, les couleurs correspondant à chacune des couches du mur sont conservées.

Résultat, résumé et analyse :

Il est possible, pour des géométries simples, de paramétrer un profil d'export ifc qui fonctionne correctement. Pour valider ces réglages de profil d'export, il faut utiliser un modèle plus complexe, comme celui du projet test.

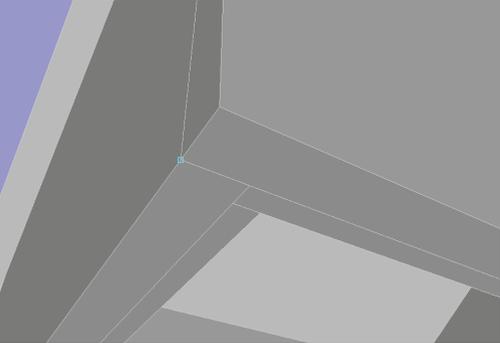
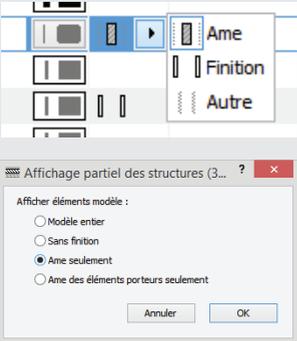
OBJECTIFS DU TEST :



Exporter uniquement les couches structurales des éléments composites.

TEST N°

15

ARCHICAD	CADWORK
	
<p>Type fichier export :</p> <p>Fichier test avec différentes maisons profil d'export : personnalisé</p>	<p>Observations :</p> <p>Sur ArchiCAD, lorsque l'on créé un mur composite, il est possible d'attribuer à chacune de ces couches une caractéristique «Ame», «Finition», ou «Autre». On peut ensuite choisir de ne visualiser que les couches structurales d'un mur (l'ame).</p>
	<p>En utilisant notre profil d'export personnalisé, nous avons, après avoir affiché sur ArchiCAD uniquement les couches structurales, exporté notre fichier en IFC.</p> <p>En important le fichier sur cadwork, on récupère effectivement les couches structurales uniquement.</p>
<p>Résultat, résumé et analyse :</p>	<p>Il est possible d'exporter uniquement les couches structurales d'un élément composite (Mur/dalle/toiture).</p>

OBJECTIFS DU TEST :



Valider le profil personnalisé sur un projet plus complexe (projet test)

TEST N°

16

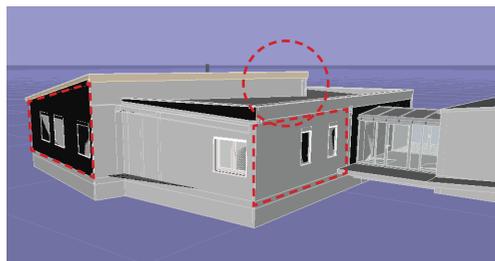
ARCHICAD



CADWORK, IFC TRAD GENERAL



CADWORK, IFC TRAD PERSONNALISÉ



D'une part, le traducteur personnalisé permet d'exporter la géométrie en entier (aucun mur manquant, jonctions avec toitures conservées).

D'autre part, de nouvelles déformations apparaissent (surfaces noires sur l'image ci-contre). Il reste à déterminer l'origine de ces déformations. Ces surfaces disparaissent en affichage filaire.

Résultat, résumé et analyse :

Le profil d'export personnalisé a permis de ressourdre certains problèmes, mais génère de nouvelles déformations.

OBJECTIFS DU TEST :

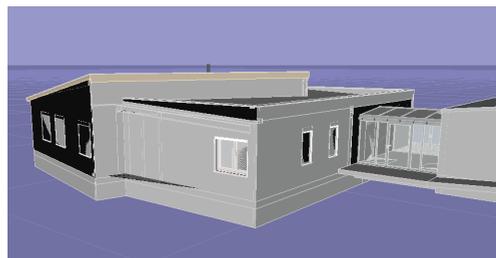
Identifier l'origine du bug / tenter de le réparer



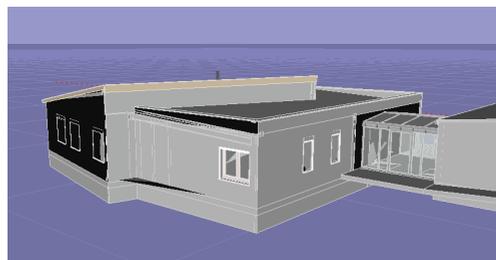
TEST N°

17

ARCHICAD

 CADWORK, IFC TRAD PERSONNALISÉ


L'option réparer ne semble avoir aucun effet.

**CADWORK, IFC TRAD PERSONNALISÉ +
OPTION HEAL SUR CADWORK**


Résultat, résumé et analyse :

L'option «heal» ne semble avoir aucun effet, ni bénéfique ni néfaste sur la géométrie.

OBJECTIFS DU TEST :

Identifier l'origine du bug / tenter de le réparer

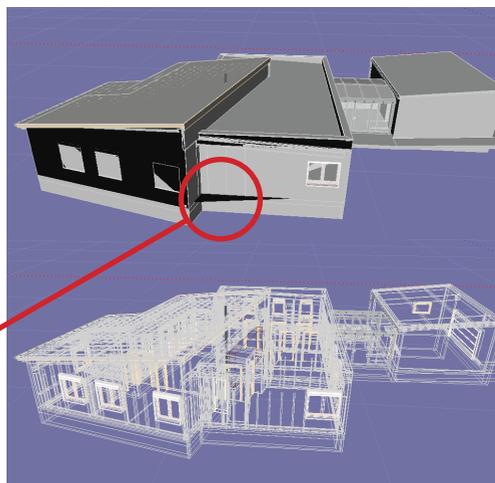
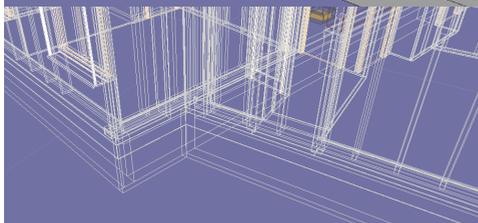
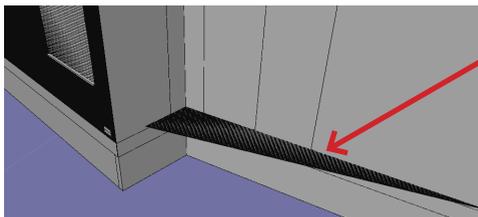


TEST N°

18

ARCHICAD

CADWORK, IFC TRAD PERSONNALISÉ



La géométrie noire est cliquable, mais disparaît lorsque le modèle est affiché en filaire.

Résultat, résumé et analyse :

Il semblerait que le modèle soit mal facetissé à certains endroits

OBJECTIFS DU TEST :

Vérifier la qualité du fichier IFC exporté avec le traducteur personnalisé

TEST N°

19

ARCHICAD



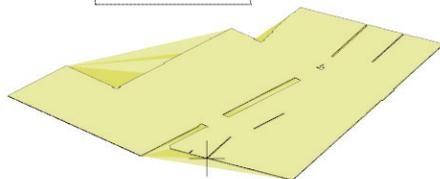
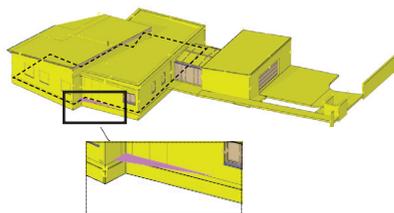
TEKLA BIMSIGHT



SOLIBRI MODEL VIEWER



CADWORK



Cadwork est le seul logiciel que nous avons testé qui présente ce bug. Même Tekla Bimsight qui présentait les mêmes types d'erreurs que cadwork fonctionne très bien pour ce modèle IFC exporté avec le traducteur personnalisé sur lequel nous avons travaillé. Sur la dalle ci-dessus, on voit bien apparaître les déformations de géométrie.

Résultat, résumé et analyse :

Le bogue est irréparable pour l'instant, mais le résultat obtenu avec le traducteur personnalisé est largement meilleur qu'avec un traducteur général.

OBJECTIFS DU TEST :

Récupérer les informations issues du modèle ArchiCAD

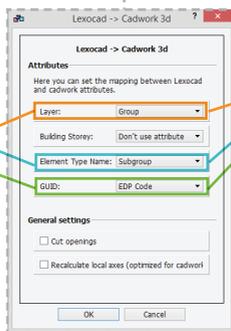
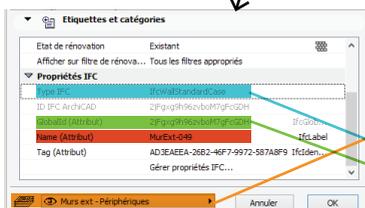
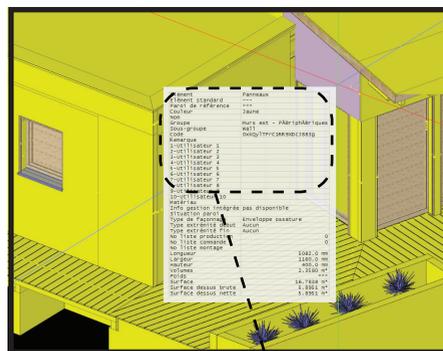
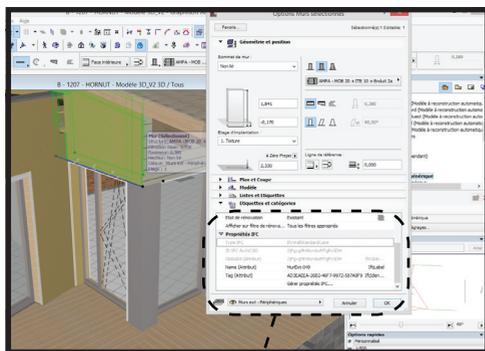
TEST N°

20

ARCHICAD



CADWORK



Elément	Panneaux
Elément standard	---
Pariol de référence	
Couleur	Jaune
NOI	
Groupe	Murs_ext - PAr1phAric1ques
Sous-groupe	wall
Code	0xkQy1TFrC1RR9XDcJ883g
Remarque	
1-Ut11isateur 1	
2-Ut11isateur 2	
3-Ut11isateur 3	
4-Ut11isateur 4	
5-Ut11isateur 5	

Résultat, résumé et analyse :

Pendant l'export du fichier IFC de cadwork vers le format .3dz (pour cadwork 3d), une fenêtre d'options s'ouvre : elle permet de gérer la manière dont les informations vont être redirigées.

Les informations ne semblent pas détériorées dans cadwork 3D. Nous avons cependant décomposé les murs en couches; les différentes parties du mur se sont donc vus attribuer un nouveau Global Id.

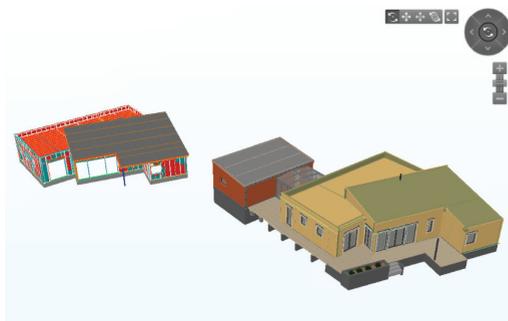
OBJECTIFS DU TEST :



Superposition de modèles:
Utiliser un logiciel tiers afin d'exploiter la superposition des modèles ArchiCAD (architectes) et Cadwork (charpentiers). Aide pour le visa de la conformité architecturale du projet.

TEST N°

21



Les deux modèles ont été construits séparément sur deux logiciels différents. Ils ne possèdent donc pas la même origine. Cependant, un essai rapide montre qu'un modèle IFC effectuant la boucle ArchiCAD -> Cadwork -> ArchiCAD conserve son origine. On peut ainsi considérer que le modèle complété par les charpentiers se superposera correctement avec celui des architectes, puisqu'ils utilisent la même base. Dans le cas présent, un travail de calage des modèles a été nécessaire. L'opération a été externalisée par des raisons de clarté et le choix du logiciel tiers s'est porté sur Tekla Bimsight, car il est gratuit, performant et simple d'utilisation.

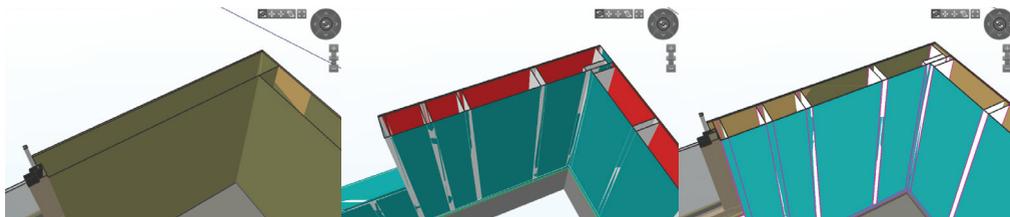
MODÈLE ARCHITECTE

MODÈLE CHARPENTIERS

SUPERPOSITION MODÈLES



Extrait de coupe/perspective



Extrait de plan/perspective

Résultat, résumé et analyse :

En se basant sur un modèle architecte épuré (uniquement les enveloppes des parties structurales des murs et toitures), la superposition des deux modèles offre une visualisation efficace de la constitution des murs et toitures ossatures bois. Cette méthode permet notamment de vérifier de manière visuelle et dynamique que le travail effectué par les charpentiers correspond à celui des architectes.

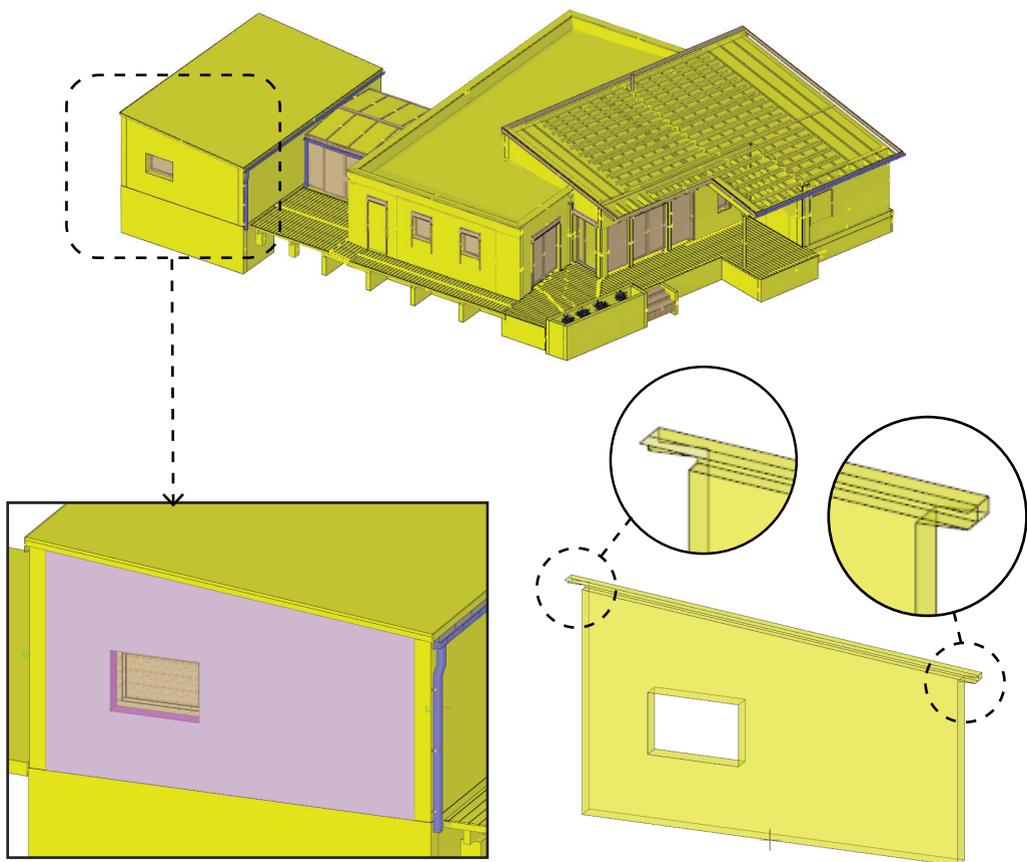
OBJECTIFS DU TEST :



voir avec l'entreprise de charpente de quelle manière le modèle optimisé est exploitable

TEST N°

22



Résultat, résumé et analyse :

Tous les murs et toitures sont intersectés par d'autres murs et toitures (ex ci-dessus). Au moment de l'export, ces intersections sont gelées, et les couches prioritaires mangent les autres. Tous les volumes sont donc «grignotés», dentelés. Or, pour travailler correctement, le bureau d'études de l'entre-

prise de charpente a besoin de volumes parfaitement propres et simplifiés. Même en réalisant une modélisation très propre et rigoureuse du projet, les volumes subissent cette opération au moment de l'export. Les géométries ne sont donc pas exploitables en l'état par le bureau d'études. Conclusion : le fichier importé ne pourra faire office que de support de remodelisation.

Résumé :

Ces dernières années, les architectes ont vu leur profession se transformer; ceci est dû notamment aux avancées technologiques liées à l'informatique et aux données numériques 2D et 3D. Ils ont aujourd'hui la possibilité de travailler sur des modèles 3D enrichis qui contiennent à la fois des informations géométriques du projet (3D), et des informations non géométriques (prix, notices techniques, propriétés mécaniques de certains matériaux ...etc). Ce type de modèle riche en information est appelé maquette numérique. Ce modèle d'informations du projet a vocation à être échangé et enrichi par différents acteurs de la construction (architecte, bureau d'études...), dans le but de faciliter la conception, construction et la gestion de l'ouvrage.

Notre travail concerne le développement des échanges de fichiers entre une agence d'architecture et une entreprise de charpente. Cette étude nous a amenés à manipuler des notions informatiques, des concepts de sciences sociales, mais également des aspects plus concrets de la vie d'une agence d'architecture et du fonctionnement interne d'une entreprise de charpente.

Elodie HOCHSCHEID

