

Les journées de l'enseignement de la maquette numérique et du BIM en France



Remerciements aux soutiens des journées EduBIM 2019 :



Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <http://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>

SESSION 1 – MONTÉE EN COMPÉTENCE DES PROFESSIONNELS	3
Formalisation d'un référentiel de compétences sur le sujet du BIM pour les métiers de la maîtrise d'œuvre, des entreprises et des artisans du bâtiment	4
Etude comparative de MOOC pour les PME et les artisans	12
Projet BIM AuRA	24
SESSION 2-A – FORMATIONS BAC / BAC+3	30
Numérisation 3D de masse « indoor and outdoor »	31
Se former par les méthodes collaboratives	40
BIM CLUB en Afrique du Sud	46
SESSION 2-B – FORMATIONS BAC+3 / BAC+6	51
Du nuage de points à la simulation thermique d'un groupe de bâtiments existant via un modèle BIM	52
Intégration du BIM dans le parcours de formation Licence-Master Génie Civil de l'Université de Nantes	57
Mastère Spécialisé GP-BIM	68
SESSION 3 – OUTILS PÉDAGOGIQUES	75
Outils et méthode pour la production collaborative de ressources pédagogiques pour l'enseignement du BIM	76
Architectures numériques : pratiques de la modélisation paramétrique	92
Les thèses professionnelles du Mastère Spécialisé BIM, leur nature, leur valorisation, la contribution à la consolidation des savoirs et des pratiques du milieu professionnel	104
Les Génies de la Construction et l'extension du Groupe Scolaire du Coteau	116

Session 1 – Montée en compétence des professionnels

Formalisation d'un référentiel de compétences sur le sujet du BIM pour les métiers de la maîtrise d'œuvre, des entreprises et des artisans du bâtiment

Xavier BLAY – Directeur des études

Yann PARC – Formateur-consultant

GIP FCIP Expérience - CAFOC de Nantes

Résumé

Dans le cadre du Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment (PTNB) et à la demande des organisations professionnelles parties prenantes (CNOA, UNSFA, SYNTEC, UNTEC, CINOV, FFB et CAPEB), a été produit en 2018 un référentiel de compétences commun des acteurs de la construction sur le thème du BIM.

Ce référentiel a été structuré à partir de 20 activités clés, chacune de ces activités étant déclinée en compétences.

Ce référentiel a été complété par plus de 200 situations de travail, chacune étant décrite brièvement (3 à 15 lignes), permettant de contextualiser ce référentiel et de faciliter son usage par différents acteurs (formateurs et enseignants, acteurs de la gestion des compétences en entreprise, acteurs du conseil en évolution professionnelle).

Mots clefs

Référentiel de compétences ; Organisations professionnelles ; Situations de travail

1. Éléments clés du contexte

1.1 Le Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment (PTNB)

Dans le cadre du plan de relance de la construction engagé en 2015, trois chantiers ambitieux ont été lancés par les pouvoirs publics, en lien avec l'ensemble des organisations professionnelles concernées, afin de soutenir la modernisation de la filière Bâtiment et la montée en compétences des professionnels qui la composent : un « Plan d'action pour la qualité de la construction et la transition énergétique » (PACTE), un « Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment » (PTNB), un plan de recherche et développement visant à lever les freins spécifiques au désamiantage.

Le PTNB, initié formellement le 20 janvier 2015, dont une des finalités est de permettre aux entreprises et artisans du bâtiment de s'approprier l'usage des outils numériques sur les chantiers, a été structuré à partir de 3 axes essentiels :

- 1. Expérimenter, capitaliser, convaincre et donner envie de s'approprier le numérique dans le quotidien de l'acte de construire.
- 2. Permettre la montée en compétence des professionnels du bâtiment autour du numérique et le développement d'outils adaptés à tous les chantiers en privilégiant les objectifs de massification pour le déploiement et en accordant une attention toute particulière aux solutions BIM pour les petits projets.
- 3. Développer un écosystème numérique de confiance en encourageant les travaux de normalisation dans le but de permettre l'interopérabilité des outils et logiciels et en développant des dispositifs valorisant le recours au numérique dans le bâtiment.

Chaque axe a lui-même été décliné en un ensemble d'actions.

Le projet dont il est ici question s'inscrit dans l'axe 2 et plus précisément l'action 2.1 : « Accompagner le déploiement du numérique dans le bâtiment par la montée en compétences des professionnels en activité à travers la formation continue et préparer une nouvelle génération d'acteurs convaincus à travers une formation initiale adaptée ».

Dans le cadre du déploiement du numérique dans le bâtiment, le BIM (« Building Information Modeling ») s'impose comme la méthode de travail basée sur la collaboration autour d'une maquette numérique qui s'enrichit des apports des différents intervenants sur l'ouvrage, de la conception à la construction et de la réception à la fin de vie.

Pour construire une offre de formation initiale et continue, il apparaît nécessaire de définir les besoins en développement de compétences des différents métiers en lien avec l'utilisation des outils numériques et de cette méthodologie de travail liée au BIM. Chaque acteur, de la conception à la construction - architecte, maître d'œuvre, ingénieur, technicien, professionnel des entreprises et artisan -, a des besoins en compétences différents liés d'une part à la spécificité de son métier et d'autre part aux types de projets (construction ou rénovation de logements individuels ou collectifs ou de bâtiments tertiaires) sur lesquels il intervient.

1.2 L'élaboration d'un référentiel de compétences sur le sujet du BIM

C'est dans ce contexte que le CNOA¹, l'UNSFA², le SYNTEC³, l'UNTEC⁴, le CINOV⁵, la FFB⁶ et la CAPEB⁷ ont souhaité, bien qu'ils puissent avoir des besoins différents, l'élaboration d'un référentiel de compétences commun des acteurs de la construction sur le thème du BIM.

Deux intentions étaient exprimées dans le cahier des charges, l'élaboration de ce référentiel métiers en lien avec le BIM devant ainsi permettre :

- aux organismes de formation, d'actualiser ou de développer une offre de formation permettant le développement des « compétences BIM » identifiées et adaptées à chacun des métiers,
- aux professionnels de s'auto-évaluer par rapport aux compétences attendues et ainsi de déterminer les compétences à développer.

La création d'un outil d'évaluation des compétences à destination des professionnels, constitue d'ailleurs une suite envisagée à l'élaboration de ce référentiel. Dans le cadre du projet dont il est ici question, il s'est agi en complément de l'élaboration du référentiel de compétences de rédiger un ensemble de situations de travail pouvant servir de supports à la réalisation de cet outil d'évaluation.

2. Productions disponibles

2.1 Présentation du référentiel de compétences

Le référentiel produit sur le thème du BIM rassemble des activités et compétences qu'une structure, quelle qu'elle soit, peut être amenée à développer, en tout ou partie, en fonction du projet de construction sur lequel elle est investie, de son organisation et de sa maîtrise des différents outils numériques. Les activités et compétences ont été organisées à partir des 5 étapes usuelles permettant de situer un projet :

- Programmation
- Conception
- Construction
- Exploitation
- Rénovation, réhabilitation, démolition

¹ Conseil national de l'Ordre des architectes

² Union nationale des syndicats français des architectes

³ Fédération des syndicats des sociétés d'études et de conseils

⁴ Union nationale des économistes de la construction

⁵ Fédération des syndicats des métiers de la prestation intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique

⁶ Fédération française du bâtiment

⁷ Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment

Chaque étape est décrite par 2 à 5 activités, soit un total de 20 activités retenues :

- Activité 1 - Constituer un dossier de réponse à un appel à candidature, puis à un dossier de concours ou de consultation, en décrivant le processus BIM
- Activité 2 - Elaborer une convention BIM en réponse à un cahier des charges en processus BIM
- Activité 3 - Concevoir un projet en processus BIM
- Activité 4 - Réaliser ou compléter une maquette numérique et intégrer les données nécessaires à la présentation d'un projet
- Activité 5 - Réaliser une synthèse numérique des études en collaboration avec les différentes entités impliquées dans la conception et la réalisation du projet
- Activité 6 - Vérifier la consolidation des données intégrées à la maquette numérique suite aux différentes phases de synthèse
- Activité 7 - Répondre à un appel d'offres ou à une consultation de travaux
- Activité 8 - Simuler, avec les outils numériques, les différents stades d'avancement de réalisation de l'ouvrage
- Activité 9 - Exploiter les données numériques pour préparer la réalisation de l'ouvrage
- Activité 10 - Utiliser les données et les outils numériques pour faciliter les coopérations dans la réalisation de l'ouvrage
- Activité 11 - Consolider la réalisation de la construction en analysant les données numériques
- Activité 12 - Préparer les activités de la phase d'exploitation par l'utilisation des données des DOE
- Activité 13 - Conseiller le gestionnaire pour exploiter efficacement le bâtiment par une utilisation régulière des données numériques
- Activité 14 - Gérer la maintenance courante en tenant compte des données numériques (GMAO)
- Activité 15 - Réaliser une maintenance préventive par l'exploitation des alertes/informations numériques
- Activité 16 - Gérer les informations pour la préparation et la mise à jour d'un carnet numérique de suivi et d'entretien du logement et/ou du bâtiment
- Activité 17 - Evaluer les contraintes techniques de la modification d'usage ou de la déconstruction par l'analyse de la maquette numérique
- Activité 18 - Produire des scénarios de déconstruction partielle ou totale en vue d'une réhabilitation
- Activité 19 - Identifier dans la maquette numérique les matériaux et équipements à réemployer, à réutiliser, à réparer
- Activité 20 - Quantifier, analyser et assurer la traçabilité des flux matériaux, matières et équipements de la déconstruction totale ou partielle

Chaque activité est décomposée en 4 à 14 compétences spécifiques à l'activité considérée. Des compétences transversales à l'ensemble des activités, plus spécifiquement numériques et relevant de 5 principaux domaines (Gérer les données de la maquette numérique ; Collaborer et communiquer avec les outils numériques ; Réaliser ses activités numériques avec rigueur et méthode ; Analyser sa pratique numérique, s'autoévaluer et développer ses compétences ; Mettre en œuvre des pratiques renouvelées de management de projet) sont en outre proposées. Ces compétences spécifiques et transversales sont elles-mêmes déclinées en savoirs et savoir-faire.

Plus globalement, ce référentiel est organisé selon les structures habituelles des RAP⁸ et REAC⁹ : contexte et environnement de l'activité ; données d'entrée de l'activité ; moyens et outils nécessaires ; liste des compétences spécifiques de l'activité ; compétences transversales de l'activité. Les « savoirs » et « savoir-faire » plus spécifiquement numériques, associés à ces compétences, sont proposés afin de faciliter l'usage du référentiel.

Les compétences ont été décrites selon les préconisations de la commission nationale de la certification professionnelle (CNCP) : « Une compétence se traduit par une capacité à combiner un ensemble de savoirs, savoir-faire et savoir-être en vue de réaliser une tâche ou une activité. Elle a toujours une finalité professionnelle. Le résultat de sa mise en œuvre est évaluable dans un contexte donné (compte tenu de l'autonomie, des ressources mises à disposition...) ».

Extrait du référentiel :

Activité 9 : Exploiter les données numériques pour préparer la réalisation de l'ouvrage	
1- Conditions de réalisation de l'activité	
<i>Contexte et environnement</i>	
L'ensemble des entités a collaboré pour procéder à la synthèse numérique en vérifiant la disponibilité de l'ensemble des informations nécessaires pour le chiffrage, la préparation et la réalisation du chantier. Les données saisies ont permis de décrire avec précision les différentes étapes de construction de l'ouvrage. Après avoir sélectionné les entreprises, il convient maintenant d'exploiter les données pour préparer le chantier et optimiser la phase de réalisation grâce à une anticipation et une analyse des risques facilitées.	
<i>Les données d'entrée</i>	
- Maquette numérique - Ensemble des plans - Dossier de consultation des entreprises extrait de la maquette - Fichiers des données - Planning des travaux 4D - Les données nécessaires à la préparation de la logistique	
<i>Les moyens et les outils</i>	
- Moyens informatiques et logiciels - Moyens humains : équipe pluridisciplinaire	
2- Compétences mises en œuvre dans l'activité	
2.1- Les compétences spécifiques à l'activité et les compétences clés numériques associées	
A9CS1	Compléter le planning 4D avec les tâches liées à la réalisation des études d'exécution et réaliser le planning de diffusion des études d'exécution <i>CC2.1 Visionner et manipuler une maquette numérique</i> <i>CC4.2 Exploiter les informations extraites de la maquette pour une intégration dans les actions métiers</i> <i>CC4.3 Exploiter un planning 4D</i>
A9CS2	Exploiter les données de la maquette pour assurer le suivi budgétaire et valider la cohérence des données avec le devis initial <i>CC4.1 Formuler une requête et en exploiter les éléments</i> <i>CC4.4 Exploiter les coûts associés aux objets (5D)</i> <i>CC4.2 Exploiter les informations de la maquette pour les intégrer dans les outils métiers</i>
A9CS3	Réaliser les commandes, les approvisionnements, en exploitant les données de la maquette numérique (mètres, calepinage, quantités, débits, modélisation de coffrage...) et établir le planning de livraison à partir du planning 4D

⁸ RAP : référentiel d'activités professionnelles

⁹ REAC : référentiel emploi activités compétences

2.2 Méthodologie utilisée pour la construction du référentiel

Ce référentiel a été élaboré à partir d'une analyse croisée de l'impact du BIM et du numérique sur les diverses situations de travail du secteur professionnel selon quatre modalités :

- une analyse documentaire (ouvrages de référence, presse généraliste et presse spécialisée, guides méthodologiques de mise en œuvre de processus BIM, exploitation des RAP et des REAC de niveau V à III des ministères de l'Education nationale et du Travail, etc.),
- des entretiens individuels auprès de professionnels directement concernés par les évolutions en cours,
- l'animation d'ateliers de travail avec une vingtaine d'experts représentatifs des différentes organisations professionnelles et des différents métiers,
- la prise en compte des attentes des différentes organisations professionnelles par l'animation régulière de réunions de concertation.

Sa production a été réalisée entre le 25 septembre 2017 (réunion de lancement de la production) et le 13 décembre 2018 (comité de pilotage du PTNB validant la production) et a été ponctuée par 7 réunions de concertation avec les 7 organisations professionnelles parties prenantes.

2.3 Situations de travail associée au référentiel

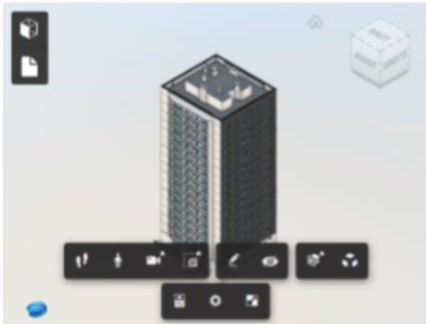
Sur la base du référentiel, des situations de travail susceptibles d'alimenter des outils d'évaluation des compétences ont été produites, en distinguant, d'une part, les acteurs de la maîtrise d'œuvre et, d'autre part, les entreprises et artisans du bâtiment.

Plus précisément, ont été produits :

- Un livret de 118 situations concernant les métiers de la maîtrise d'œuvre, construites à partir d'une entrée par les 6 contextes suivants : logement individuel neuf ; logement individuel existant ; logement collectif neuf ; logement collectif existant ; bâtiment tertiaire neuf ; bâtiment tertiaire en rénovation. Ce livret comprend en outre et pour chaque situation une grille d'auto-évaluation des compétences mobilisées par cette situation.

Exemple (contexte de logement collectif existant) :

Présentation de la situation :



Cette tour de 15 étages n'est pas isolée et les charges de chauffage sont lourdes. Le conseil syndical fait faire un audit énergétique qui débouche sur un ambitieux projet d'amélioration énergétique et architecturale conçu en BIM. Un processus vertueux s'enclenche avec l'accord des copropriétaires, grâce à l'engagement et au dynamisme du conseil syndical et à la participation de nombreux acteurs. En effet, le BIM a été un formidable outil de dialogue pour faire comprendre les enjeux, explorer des hypothèses, se mettre d'accord et surtout rassurer chaque propriétaire « toujours frileux à l'idée de dépenser beaucoup d'argent dans des choses qui ne se voient pas vraiment » (l'isolation). Chaque copropriétaire a pu comprendre l'ensemble du projet, visualiser son appartement et, dans son appartement, les conséquences, suivre le chantier au jour le jour, être prévenu des interventions en intérieur, etc. Une requalification exemplaire qui valorise chaque appartement et qui illustre un usage du BIM comme outil de communication et d'appropriation du projet en direction d'une maîtrise d'ouvrage non professionnelle.

Source : Sona Architecture Nantes

Activité 1 : Constituer un dossier de réponse à un appel à candidature, puis à un dossier de concours ou de consultation, en décrivant le processus BIM

Une équipe de maîtrise d'œuvre se constitue pour concourir à un projet de rénovation d'un habitat collectif en milieu urbain. Dans un premier temps, vous réalisez le dossier de réponse à la consultation.

A l'issue de cette phase de consultation, votre équipe a été sélectionnée par la maîtrise d'ouvrage. Vous devez maintenant vous organiser pour réaliser les prestations demandées dans le règlement de consultation et le cahier des charges dans lesquels le maître d'ouvrage exige la description précise du processus BIM et des objectifs de construction innovante et de chantier rapide. Vous serez donc vigilant aux attendus et exigences BIM du cahier des charges et vous vous appuyerez sur tous les éléments disponibles dans le dossier de concours pour contribuer à la constitution du dossier de réponse et à la présentation numérique de la proposition.

		Je ne sais pas de quoi il s'agit	J'ai vu faire	J'ai fait avec de l'aide	J'ai fait seul	Je pourrais transmettre
	Compétences spécifiques à l'activité 1 :					
A1CS1	Analyser le dossier de consultation et les informations numériques disponibles à prendre en compte pour élaborer la réponse à la consultation					
A1CS2	Rédiger dans un document synthétique une argumentation présentant l'expérience et les compétences de l'équipe à s'inscrire dans un processus BIM					

- Un livret de 115 situations concernant les artisans et entreprises du bâtiment, plutôt construites à partir de contextes « métier » (6 au total) : plombier ; charpentier ; électricien ; plâtrier-plaquiste ; maçon ; entreprise spécialisée dans l'enveloppe du bâtiment. Les situations ont été scénarisées à partir des informations brutes fournies par des entrepreneurs interviewés.

Exemple (contexte métier de plombier) :

Sam est plombier chauffagiste en Vendée depuis 20 ans. Il est aujourd'hui chef d'une entreprise de 8 salariés. Depuis 2011, il s'est formé à la modélisation 3D sur l'outil « Sketchup ». En 2017, il s'est équipé d'un scanner 3D pour réaliser des nuages de points et produire ses propres maquettes. Si besoin, il utilise un drone (selon la réglementation). Dans la salle de réunion, il a fixé un grand écran de télévision. Il y réunit les ouvriers avant le démarrage du chantier pour leur projeter la maquette 3D et leur présenter les spécificités du chantier en 3D. Il a équipé son équipe d'une tablette spécifique pour les chantiers sur laquelle est installé un **viseur** performant.

Activité 1 : Constituer un dossier de réponse à un appel à candidature, puis à un dossier de concours ou de consultation, en décrivant le processus BIM

Sans objet car marché de gré à gré.

Activité 2 : Elaborer une convention BIM en réponse à un cahier des charges en processus BIM

Sam est contacté par un client qu'il connaît bien, pour lequel il avait réalisé des travaux de plomberie afin d'installer un évier dans son garage. Il possède une charmante petite maison de bord de mer de 75 m² construite dans les années 50 qu'il envisage d'utiliser plus régulièrement avec sa famille (enfants et petits-enfants) en hiver. Cette fois-ci, le projet du client est conséquent. Il vient en effet de faire changer toutes ses ouvertures et d'isoler les combles. Le client présente au plombier-chauffagiste la suite de son « cahier des charges ». Il faut donc maintenant installer une VMC. Il envisage la pose d'un poêle à granulés dans la pièce à vivre, le changement de tous les radiateurs électriques (qui datent de 1970). Du fait du bon ensoleillement annuel de ce département et de l'orientation de sa toiture qui lui semble favorable, il s'interroge sur l'opportunité d'installer un chauffe-eau solaire. Vous accompagnez Sam dans ses activités liées au BIM.

Pour présenter une synthèse de ses besoins au client, vous recherchez toutes les données utiles (isolation des murs ; caractéristiques des nouvelles fenêtres ; qualité de l'isolation des combles...) et vous proposez au client de réaliser une esquisse en 3D à partir d'un nuage de points que vous réalisez avec un scanner. Vous rédigez ensuite les premiers éléments de votre proposition, vous imaginez les modalités de travail possibles avec le client et avec votre équipe et vous anticipez les différents usages que votre équipe, le collègue électricien si besoin et votre client pourraient, par la suite, faire de votre maquette. En fonction de ces usages potentiels, vous prévoyez le degré de précision qu'il sera nécessaire d'apporter aux objets de la maquette. Vous réfléchissez d'ores et déjà à la manière dont vous allez manager ce projet avec votre équipe car tous vos ouvriers ne sont pas encore des professionnels du numérique.

3. Usages possibles du référentiel de compétences

Le référentiel recense les activités et compétences particulièrement impactées ou rendues nécessaires par l'évolution des situations de travail en lien avec le BIM et le développement des outils numériques. Le périmètre des 20 activités retenues pour structurer le référentiel est défini de manière à ce que chacune d'elles puisse être exploitée, notamment par l'appareil de formation professionnelle, indépendamment des autres ; on les qualifie ainsi d'activités « autoporteuses ».

Ce référentiel (et les situations de travail associées) peut ainsi être utilisé par :

- Les formateurs, pour construire des positionnements préalables à l'entrée en formation, élaborer des dispositifs de formation s'appuyant sur des situations de travail réelles, organisés en modules et permettant l'élaboration de parcours de formation professionnalisant et répondant aux enjeux des évolutions actuelles des métiers du secteur.
- Les acteurs concernés par la gestion des compétences notamment les branches et les entreprises dans le cadre de démarches de Gestion Prévisionnelle des Emplois et des Compétences ou les services Ressources Humaines des entreprises dans le cadre en particulier des entretiens professionnels.
- Les acteurs de l'emploi dans le cadre du conseil en évolution professionnelle ou de toute prestation d'accompagnement à l'orientation ou l'évolution professionnelle.

Les productions sont accessibles sur le site du PTNB, à l'adresse suivante :

<http://www.batiment-numerique.fr/news/112/27/Referentiel-de-competences.htm>

Etude comparative de MOOC pour les PME et les artisans

Amélie BOUQUAIN¹

Marie BAGIEU²

Peter IREMAN²

¹ DIAFPIC de la région académique Normandie - Rectorat de l'académie de Caen

² Ecole Supérieure des Travaux de la Construction de Caen

Résumé

Les artisans et TPE/PME français ont besoin de se former pour passer au numérique et être capables d'aller sur des opérations en mode BIM. Le rectorat de l'académie de Caen et l'ESITC Caen proposent, dans cet article, de présenter les approches pédagogiques développées dans la conception de deux MOOC destinés à des artisans et TPE/PME. Les MOOC «Rénover avec une maquette numérique et un processus BIM : la maison individuelle » et « Répondre à un appel d'offres en BIM » ont été conçus en collaboration avec les fédérations professionnelles locales. Le retour d'expériences de la mise en œuvre de ces MOOC est la nécessité d'accompagnement des professionnels, dans ce type de formation ouverte à tous.

Mots clefs

MOOC, SPOC, Formation professionnalisant, TPE, PME, Artisans

1. Introduction

Deux projets normands, d'aide à l'appropriation du processus BIM par les petites et moyennes entreprises (PME) et les artisans, ont choisi d'utiliser l'approche MOOC¹⁰, pour accompagner les entreprises dans ce changement de paradigme. L'introduction du BIM dans les PME et chez les artisans du BTP s'accélère progressivement en France. Selon le dernier baromètre du PTNB [1] effectué fin 2017, 13% des entreprises de moins de 10 salariés et 46% des entreprises de 10 à 49 salariés utilisent des outils numériques, complétés parfois d'une démarche BIM. Ces chiffres sont à comparer à 1% et 7%, respectivement, en fin d'année 2016. Parallèlement, les MOOC et autres outils de e-Learning s'imposent dans le monde de la formation initiale et plus modestement, auprès des professionnels. Après une présentation des deux MOOC, produits dans le cadre des deux projets normands, «Rénover avec une maquette numérique et un processus BIM : la maison individuelle » et « Répondre à un appel d'offres en BIM », un comparatif des spécificités des ingénieries pédagogiques sera proposé. Le retour d'expériences de ces deux MOOC ouvrira le débat sur l'intérêt de développer des MOOC BIM, à destination des professionnels et en particulier des PME et artisans du BTP.

2. La nécessité d'appropriation du processus BIM par les entreprises du BTP

Dans nombre de pays, le BIM devient progressivement incontournable, voire obligatoire. L'exemple du Royaume Uni, pour lequel, l'utilisation du BIM niveau 2 est obligatoire pour les bâtiments publics depuis 2016, montre que l'obligation légale ne suffit pas à modifier les usages, si l'obligation n'est pas accompagnée de mesures d'aide à la montée en compétences. Le gouvernement anglais a donné un ensemble holistique de lignes directrices et de normes pour le passage de la CAO au BIM dans les entreprises. Cependant, les résultats indiquent qu'environ 75% des PME du Royaume Uni, qui forment l'épine dorsale du marché de la construction, n'ont pas encore intégré le processus BIM [2]. Même si l'état français n'impose rien en la matière, les appels d'offre BIM se multiplient. Le nouveau Code des Marchés Publics français [3] prévoit désormais le stockage, le traitement et la diffusion des données numériques. De nombreux clients, associés à une maîtrise d'œuvre sensibilisée au BIM, réclament l'adoption de ce processus dans leurs projets. Le BIM à chaque étape du marché, depuis la mise en concurrence jusqu'à la gestion technique et patrimoniale de la construction, représente une évolution qui va dans le sens de l'histoire. Ainsi, il devient essentiel de pouvoir expliquer chaque phase d'un projet, en décrivant l'utilisation de la maquette numérique, les moyens mis en œuvre pour le processus collaboratif et les interactions entre les différents acteurs.

Pour répondre à cette évolution inéluctable, les artisans et les PME doivent s'adapter, mais cette transition vers un environnement de travail collaboratif BIM pose un certain nombre de défis et de risques pour les PME et le fossé technologique continue de se creuser entre les grandes entreprises et les PME, comme constaté par F. Khosrowshahi [4]. Pour J. Harty et al. [5], une clé de la réussite du passage au BIM est l'accompagnement des PME par l'exemple et le retour d'expériences de projets BIM réussis. C. Babic et al. [6], analysent la lenteur de la diffusion du processus BIM dans l'industrie de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction (AEC) par le caractère local de celle-ci.

¹⁰ « Massive Open Online Course » que l'on peut traduire par CLOM « cours en ligne ouvert et massif ». Un MOOC est un ensemble de cours en ligne. Ces cours sont gratuits et tout le monde peut y avoir accès.

3. Les MOOC à destination des entreprises

Parallèlement, l'innovation numérique des années 1990 et la diffusion d'internet a été le déclencheur du développement de l'e-learning ; le MOOC étant une de ces formes les plus récentes. Avec la révolution du numérique et la dématérialisation des processus administratifs, les entreprises françaises, quelle que soient leurs tailles, ont désormais l'obligation de s'équiper et d'adapter leur façon de travailler et de se former.

Depuis la fin des années 2000, les MOOC, qu'ils soient transmissifs (xMOOC) ou connectivistes (cMOOC) [7], ont permis une vulgarisation des connaissances de tous ordres et dépassent désormais largement le cadre universitaire. L'approche connectiviste a été privilégiée dans les deux MOOC présentés ici, afin de s'écarter des caractéristiques d'un enseignement transmissif traditionnel et s'adapter à un besoin de pédagogie par l'exemple, plébiscité par les partenaires des projets. Le cMOOC mise sur le bénéfice du travail collaboratif, en privilégiant l'interaction, le partage du contenu et l'échange au sein de l'entreprise.

Aujourd'hui, les MOOC ont fait leur entrée dans les entreprises, même de petite taille. Il existe des MOOC sur l'entrepreneuriat, mais aussi des MOOC techniques, pour former les collaborateurs dans le cadre d'une montée en compétences profitable à l'entreprise.

Quelques exemples de MOOC pour les acteurs du BTP :

- La transformation digitale des TPE & PME – [8]
- Bâtiment performant et écologique – [9]
- Prescrire et estimer à l'heure du BIM – [10]
- Rénovation performante – les clés de la réhabilitation énergétique – [11]
- MOOCBIM : Devenez acteur de la transition numérique – [12]
- ...

D'après M. Cisel [13], les utilisateurs de MOOC sont en grande proportion des trentenaires, diplômés et salariés à plein temps. Cependant, s'ils s'intéressent aux MOOC, c'est principalement dans un but d'autoformation et d'épanouissement personnel, il reste à faire entrer pleinement la culture du MOOC dans la démarche de formation continue de l'entreprise.

Jean Condé [14] cite deux obstacles principaux à l'accès aux MOOC : les obstacles internes qui relèvent des dispositions individuelles des salariés (capacité cognitive, motivation, situation familiale...) et les obstacles externes qui relèvent de leur environnement professionnel (degré de liberté, temps disponible, culture d'apprentissage de l'entreprise...). La méconnaissance des plateformes de formation et de l'existence des MOOC représente aussi un obstacle majeur, préalable à toute autre considération.

La solution serait donc d'agir aux niveaux « *informationnels, structurels et pédagogiques* ».

4. Le MOOC « Rénover avec une maquette numérique et un processus BIM : la maison individuelle » – Projet 2N2E

Dans le cadre du projet 2N2E - Normandie Numérique Efficacité Énergétique, porté par le GIP FCIP de l'académie de Caen, cofinancé par le Programme d'Action pour la Qualité de la Construction et de la Transition Énergétique (PACTE) et une vingtaine de partenaires du secteur du bâtiment sur le territoire normand, le MOOC "Rénover avec une maquette numérique et un processus BIM : la maison individuelle" a été conçu afin de sensibiliser aux concepts de maquette numérique et de BIM, et leurs applications au champ de la rénovation de logements individuels. Ce dispositif de formation en ligne visait en particulier la montée en compétences des artisans et professionnels des TPE/PME.



Figure 2-1 - MOOC « Rénover avec une maquette numérique et un processus BIM : la maison individuelle »

Afin de concevoir les contenus pédagogiques, l'équipe projet s'est appuyée d'une part sur l'expertise mobilisée au sein du partenariat, et d'autre part sur des expérimentations d'intégration de la maquette numérique et du BIM auprès de professionnels du bâtiment. En effet, celles-ci se sont sourcées sur des chantiers de rénovation menés en Normandie dans le cadre d'une autre action du projet 2N2E. Ainsi, les cas pratiques présentés dans le MOOC ont été réalisés à partir des retours d'expérience issus du terrain et au plus près de ses réalités et problématiques actuelles, quant à l'utilisation de la maquette numérique dans le champ de la rénovation et de l'efficacité énergétique.

Ce MOOC, d'une durée de 3 semaines, se proposait lors des deux premières semaines de présenter les concepts de base liés à la maquette numérique et au BIM afin de permettre leur compréhension et appréhension par tout un chacun, mais aussi d'explicitier le processus de construction d'une maquette numérique. Il ne s'agissait pas d'apprendre aux participants à concevoir une maquette numérique, mais bien de leur apporter des éléments de compréhension sur la construction de cet objet qu'ils seront amenés à utiliser régulièrement dans leur pratique professionnelle dans les années à venir. L'objectif était de permettre aux participants de se constituer un socle de connaissances sur ces concepts. La dernière semaine était, quant à elle, consacrée à la présentation de deux cas pratiques d'intégration de la maquette numérique sur des chantiers de rénovation : l'un présenté du point de vue des professionnels et l'autre du point de vue de la relation client. Ces cas pratiques ont permis de mettre en exergue les réalités actuelles liées à l'intégration de la maquette numérique et du BIM dans le champ de la rénovation.

En complément de ces contenus plutôt théoriques, des activités pédagogiques telles que des quizz et une activité fil rouge ont été proposés aux participants. L'activité fil rouge leur permettait d'apprendre pas à pas l'utilisation d'une visionneuse afin de lire et manipuler une maquette numérique grâce à des

tutoriels vidéo disponibles à la fin de chaque semaine. Cette typologie d'activité a été choisie, pour ce MOOC, afin de renforcer les processus d'apprentissage et leur ancrage à travers des activités plus pragmatiques que celles habituellement proposées. Suite à l'analyse des questionnaires de satisfaction des participants au MOOC, le constat est, en effet, que ces activités fil rouge ont contribué au taux de réussite des participants (70,70%), par le maintien de leur motivation et de leur montée en compétences.

En regard du public ciblé par ce MOOC, il avait été décidé d'alléger la charge de travail des participants à raison d'1h30/semaine.



Figure 2-2 - MOOC « Rénover avec une maquette numérique et un processus BIM : la maison individuelle »

Les objectifs pédagogiques du MOOC étaient les suivants :

- Comprendre ce qu'est une maquette numérique, un processus BIM et les concepts associés,
- Comprendre le processus de construction d'une maquette numérique,
- Utiliser une maquette numérique sur des chantiers de rénovation,
- Savoir utiliser une visionneuse pour lire une maquette et la manipuler

L'évaluation des acquis prévoyait la délivrance d'une attestation de réussite en fin de MOOC.

La session du MOOC a eu lieu en juin 2018 sur la Plateforme MOOC Bâtiment durable, plateforme de formation dédiée au bâtiment durable, soutenue par l'ensemble des professionnels de la filière bâtiment, du Plan Bâtiment Durable et de l'ADEME. Lancée en 2017, il s'agit de la première plateforme de MOOC dédiée à la formation professionnelle.

Les résultats de la session du MOOC "Rénover avec une maquette numérique et un processus BIM : la maison individuelle" en quelques chiffres :

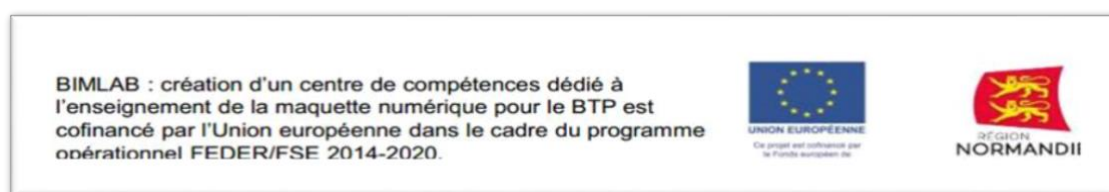
Le MOOC a touché un public composé à 80% de professionnels du secteur du bâtiment, en particulier des architectes, des ingénieurs, des enseignants et formateurs, des artisans, salariés ou chefs d'entreprise, des maîtres d'ouvrage ou encore des économistes de la construction,...

La session de juin 2018 a obtenu de très bons résultats en regard de la thématique très spécifique dont le MOOC traitait et le public visé :

- 1 169 inscrits,
- 495 participants,
- 350 attestations de réussite délivrées,
- Taux de participation : 41,80%
- Taux de complétion des inscrits : 30%
- Taux de réussite des participants : 70,70%

Il est à noter que si le taux de complétion des inscrits à des MOOC se situe généralement autour de 10%, pour le MOOC “Rénover avec une maquette numérique et un processus BIM : la maison individuelle” ce taux est de 30%, taux le plus élevé des MOOC ayant eu une session à ce jour sur la plateforme MOOC Bâtiment durable.

5. Le MOOC « Répondre à un appel d’offres en BIM » – Projet BIMLab



Dans le cadre du projet BIMLab, cofinancé par l’Union Européenne FEDER/FSE 2014-2020, l’ESITC Caen a développé, entre autre, et mis en œuvre des actions de formations initiales et continues.

Une des actions principales du projet consiste en une aide à la mise en place de la démarche et du processus BIM dans les PME normandes. Elle a donné lieu à la création d’un MOOC, à destination gérants et chargés d’affaires de PME.

Ce MOOC a pour but l’acquisition des connaissances nécessaires pour l’exploration d’une maquette numérique associée à un dossier de consultation d’entreprises (DCE), afin de permettre aux entreprises de répondre à un appel d’offre en BIM.

Il a été conçu par l’ESITC Caen et ses élèves ingénieurs, en étroite collaboration avec la Fédération France du Bâtiment (FFB) de Normandie, l’entreprise Charpente Loret¹¹, le cabinet d’Architecture Alidade, la ville de Flers et l’Assistance à Maîtrise d’Ouvrage (AMO) BIM Phase B. Il s’inscrit dans la dynamique du site FFBIM de la FFB [15] et de l’ « outil d’aide à la décision : Répondre à un appel d’offres BIM » de la FFB Pays de la Loire [16].

¹¹ <http://www.charpente-loret.com/>

Pour réaliser le contenu pédagogique du MOOC, le principe de rétro-ingénierie, avec le retour d'expériences du projet ABV (Atelier BIM Virtuel [17]) a été choisi. Le bâtiment objet de l'exemple traité est l'espace de convivialité d [1]u parc des sports du Hazé, dans la ville de Flers, dans l'Orne.



Figure 2-3 - MOOC « Répondre à un appel d'offres en BIM » - Espace de convivialité, parc des sports du Hazé à Flers (Orne)

Le MOOC présente, dans l'exemple traité pas à pas, les documents d'un appel d'offre BIM et comment une PME peut se les approprier. Il explique comment faire une réponse chiffrée à un appel d'offre en BIM, avec des outils numériques adaptés et comment les maîtriser. Il donne des éléments de réponses aux questions suivantes : Quels sont les prérequis pour entamer la phase construction en BIM ? Quel est le potentiel des outils BIM pour le chantier ?

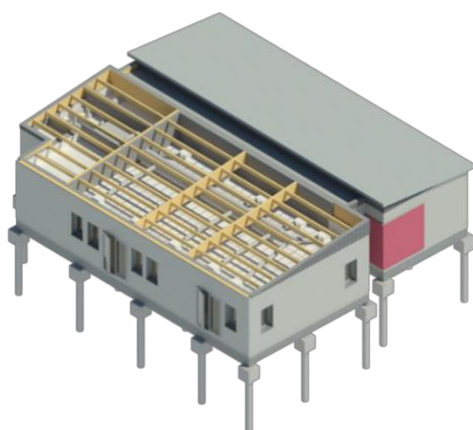


Figure 2-4 - MOOC « Répondre à un appel d'offres en BIM » Maquette numérique de l'espace de convivialité de Flers

Pour que le MOOC soit facilement accessible aux Chefs d'entreprises, le format choisi est très souple : 1h30 par semaine, pendant trois semaines consécutives.

Chaque séance est composée de trois éléments :

- Une vidéo
- Un exercice pratique
- Un QCM

Les trois semaines du MOOC se décomposent en trois mises en situation concrètes :

- Semaine 1 : « J'analyse l'appel d'offre BIM »,
- Semaine 2 : « Je prépare ma réponse avec une variante économique »,
- Semaine 3 : « Je réalise les travaux ».

Les objectifs pédagogiques du MOOC étaient les suivants :

- Comprendre ce qu'est une maquette numérique DCE
- Savoir explorer la maquette numérique pour chiffrer les travaux (extraction de quantité) et pour accompagner la réponse, notamment en termes de valeur technique (utilisation de notes BCF)
- Comprendre les prérequis pour intégrer un processus BIM en phase exécution

La délivrance d'une attestation de réussite est prévue en fin de MOOC.

6. Quelques spécificités des MOOC de la formation professionnelle

6.1 La présentation des contenus, leur qualité et leur organisation sur la plateforme

Dans un MOOC, les contenus pédagogiques sont principalement présentés sous forme de vidéos. La qualité de leur réalisation, la manière de présenter les contenus dans chaque capsule, la clarté du discours, les éléments permettant de les enrichir et la durée des capsules sont autant de critères pour les participants afin de juger de leur qualité.

Les vidéos enrichies d'images, d'infographies, d'animations ou encore de screencasts, afin de maintenir l'attention, mais aussi d'éclairer et d'illustrer les notions plus abstraites ou complexes.

Le grain pédagogique choisi doit être fin, avec des vidéos très courtes, ne dépassant pas généralement 3 à 4 min favorisant ainsi la concision et la clarté du discours.

L'organisation des contenus sur la plateforme doit permettre une alternance entre contenus pédagogiques, activités ludiques, quizz et activités pratiques. Par ailleurs, un séquençage des quizz (activités notées) semble pertinent, afin qu'ils n'apparaissent pas uniquement en fin de section (semaine), mais à la fin de chaque sous-section. En effet, cela permet d'éviter d'avoir une série de questions, parfois trop nombreuses et indigestes pour les participants. Enfin, intégrer un guidage dans les unités permet d'introduire des repères pour les participants quant à l'avancement dans la formation. L'interface et l'expérience de l'apprenant étant à ne pas négliger en tant que facilitateurs des

apprentissages, d'autant plus quand la formation vise un public peu familier de ce format de formation tout en ligne et à distance

Comme le signalent Moalic & Termignon [18], il peut parfois il y avoir un décalage entre les contenus académiques proposés dans les MOOC, jusqu'à présent produits principalement par de grandes écoles ou des universités, et ce qui peut être attendu par un salarié ou une entreprise. Ceci est d'autant plus prégnant que 74% des participants à des MOOC sont des salariés notamment de PME ou des personnes en recherche d'emploi [19]. Ainsi, dans le cas de MOOC destinés à un public de la formation professionnelle, une attention particulière doit être portée aux contenus et à leur présentation, mais aussi aux activités pédagogiques proposées qui se doivent d'être adaptées à un public de professionnels.

6.2 Les activités pédagogiques proposées

Dans un MOOC différents types d'activités pédagogiques peuvent être proposées au-delà des quizz et activités notées qui constituent l'essence même des MOOC et qui permettent de vérifier les connaissances acquises par les participants en vue de la délivrance de l'attestation de réussite. S'ils sont incontournables, d'autres activités non notées et plus ludiques peuvent être proposées aux participants, afin de favoriser leur engagement. Elles sont collaboratives ou individuelles, dans la limite de ce que les plateformes de MOOC permettent technologiquement de proposer. Ces activités donnent également la possibilité aux concepteurs de vérifier l'acquisition de connaissances, mais de façon non systématique, via un exercice qui se sanctionne par une note et qui compte pour la délivrance de l'attestation de réussite. Cela permet, par ailleurs, d'atténuer la représentation scolaire du format peu adéquat pour un public de professionnels. Dans le même sens, proposer une activité fil rouge, c'est-à-dire une activité transversale, que les participants vont pouvoir poursuivre à la fin de chaque nouvelle semaine, à leur rythme, peut permettre l'acquisition de compétences, mais aussi le maintien de l'engagement et de la motivation dans la formation.

Un public de professionnels ne cherche pas systématiquement à obtenir l'attestation de réussite, c'est le cas de plus de 56% des participants au MOOC « Rénover avec une maquette numérique et un processus BIM : la maison individuelle ».

6.3 Un format court

Quand on sait que le taux de complétion des inscrits à des MOOC tourne autour de 10%, entre des inscrits qui ne viendront jamais commencer le MOOC, des contenus qui ne correspondent pas tout à fait aux attentes du public attiré, les objectifs personnels poursuivis par chaque participant (obtention ou non de l'attestation de réussite, simple curiosité, consommation de contenus, etc.), la difficulté des activités de validation, la charge de travail à dédier par semaine et la durée du MOOC, nous pouvons formuler l'hypothèse que la durée des MOOC peut être un facteur de décrochage et d'abandon.

Le format court peut être considéré comme un facteur d'engagement en lien avec la charge de travail, d'autant plus quand le public est composé de professionnels, qui se forment principalement sur son

temps libre. En effet, les MOOC n'ont pas, à l'heure actuelle, encore totalement trouvé leur place quant au financement d'actions de formation en tant que telles dans le paysage de la formation professionnelle. Ainsi, les participants n'ont pas de temps dédié pour suivre des MOOC, ils doivent se dégager du temps sur du temps normalement consacré à leur vie personnelle. Ainsi, un MOOC sur une durée supérieure à quatre semaines et une charge de travail importante peuvent mettre à l'épreuve la motivation des participants à se dégager le temps nécessaire à le suivre. Néanmoins, le format court des MOOC, trois à quatre semaines, ne semble pas être actuellement un format spécifique à un public de la formation professionnelle.

7. Conclusion

Le retour d'expérience du MOOC « Rénover avec une maquette numérique et un processus BIM : la maison individuelle » – Projet 2N2E et les discussions au cours de la conception du MOOC « Répondre à un appel d'offres en BIM » mettent en exergue les limites des approches pédagogiques de formations en ligne et tout à distance, destinées à un public de professionnels en activité dans les entreprises de type PME/TPE. En conséquence et afin de répondre aux besoins d'accompagnement rapproché du public visé, ce type de dispositifs de formation pourrait être mis en oeuvre sous d'autres modalités. Par exemple, en parallèle des contenus en ligne de type MOOC ou SPOC, un accompagnement en présentiel pourrait être proposé aux participants, permettant ainsi un étayage de l'apprentissage dans le cadre d'un dispositif hybride de formation. Le support numérique pourrait ainsi être utilisé dans des ateliers de travail, en petit groupe avec un animateur.

Bibliographie

- [1] PTNB, «<http://www.batiment-numerique.fr/uploads/DOC/Barom%C3%A8tre/PTNB%20-%20Barometre%203%20-%20Rapport%20detaille.pdf>,» 2018. [En ligne].
- [2] A. Ghaffarianhoseini, D. Doan, T. Zhang, N. Naismith et J. Tookey, A BIM Readiness & Implementation Strategy for SME Construction Companies, 2016.
- [3] N. EINM1600207D, *Décret n° 2016-360 du 25 mars 2016 relatif aux marchés publics - Version consolidée au 28 décembre 2017*, 2017.
- [4] F. Khosrowshahi et Y. Arayici, Roadmap for implementation of BIM in the UK 19(6), 610–635, 2012.
- [5] J. Harty, T. Kouider et G. Paterson, Challenges, risks and benefits for SMEs, 2016.
- [6] C. Babic et D. Rebolj, «Culture change in construction industry: from 2D toward,» *Journal of Information*, p. 86, 2016.
- [7] J. Daniel, «Making Sense of MOOCs : Musings in a Maze of Myth, Paradox and Possibility,» *Journal of Interactive Media in Education (JIME)*, 2012.
- [8] LesDigiteurs, «<https://mooc-francophone.com/cours/la-transformation-digitale-des-tpe-pme/>,» 2017. [En ligne].
- [9] Asder1, «<https://mooc-francophone.com/cours/mooc-batiment-performant-et-ecologique/>,» 2016. [En ligne].
- [10] UNTEC, «<https://mooc-francophone.com/cours/economie-de-la-construction-prescrire-estimer-a-lheure-du-bim/>,» 2017. [En ligne].
- [11] Asder2, «<https://mooc-francophone.com/cours/renovation-performante-les-cles-de-la-rehabilitation-energetique/>,» 2017. [En ligne].
- [12] INSA Toulouse et GA Smart Building, «<https://mooc-batiment-durable.fr/courses/course-v1:GA-INSATOULOUSE+2017MOOCBAT13+SESSION01/about>,» 2018. [En ligne].
- [13] M. Cisel, Utilisations des MOOC: éléments de typologie, Doctoral dissertation - Université Paris-Saclay, 2016.
- [14] J. Condé, Pourquoi et comment participer à un MOOC ? Quel(s) processus et parcours d'apprentissage(s) ?, Doctoral dissertation - Université Paris-Saclay, 2014.
- [15] FFB, «<http://www.ffbim.fr/le-bim-comment-aborder-un-appel-d-offres>,» [En ligne].
- [16] M. Raducanu, «<http://www.fermeture-store.org/files/snfpsa/Commun/02-ACTUALITES/Journee-BIM/Outil-d-aide-a-la-decision-pour-repondre-a-un-appel-d-offre-BIM-V3.2.pdf>,» 2017. [En ligne].

- [17] PTNB, «<http://www.batiment-numerique.fr/news/91/27/Publication-des-livrables-ABV.htm>,» 2017. [En ligne].
- [18] D. Moalic et D. Termignon, «Analyse du marché français des SPOC,» 2015.
- [19] I. Quentin, «Commission Nationale du Débat Public,» 2015.
- [20] RNR, «Inscription Concours Batissiel du RNR,» 2019. [En ligne]. Available: <http://batissiel.information-education.org/2019/index.php>. [Accès le 27 03 2019].
- [21] X. Jourdain, «3e prix du Concours Batissiel Plus catégorie Sup' pour le projet SAPHIRE P01,» 06 06 2018. [En ligne]. Available: http://dgc.ens-paris-saclay.fr/version-francaise/actualites/3e-prix-du-concours-batissiel-plus-categorie-sup-pour-le-projet-saphire-p01-385430.kjsp?RH=DL_DGC-FR. [Accès le 27 03 2019].
- [22] T. Sanchez et N. Ngo-Xuan, «Concours Batissiel Plus catégorie SUP : 2ème prix pour nos étudiants !,» 11 06 2018. [En ligne]. Available: <http://charles-de-gaulle.entmip.fr/actualites/concours-batissiel-plus-categorie-sup-16644.htm>. [Accès le 27 03 2019].
- [23] S. Codet, «Quand nos étudiants conçoivent l'école de demain,» 06 06 2018. [En ligne]. Available: <https://www.u-cergy.fr/fr/ufr-sciences-et-techniques/departement-de-genie-civil-et-infrastructures/actualites/competitions/batissiel-2018.html>. [Accès le 27 03 2019].
- [24] S. Codet, «Défi BIM 2016 - 2nde place au Défi BIM Innovation,» 07 04 2016. [En ligne]. Available: <https://www.u-cergy.fr/fr/ufr-sciences-et-techniques/departement-de-genie-civil-et-infrastructures/actualites/competitions/defi-bim-2016.html>. [Accès le 28 03 2019].
- [25] C. Donas, «Batissiel Plus : LE concours pour découvrir les enjeux du BTP !,» 11 07 2018. [En ligne]. Available: <https://emploi-btp.lemoniteur.fr/edito/article/batissiel-plus-le-concours-pour-decouvrir-les-enjeux-du-btp-aea-9432>. [Accès le 06 06 2019].
- [26] P. Durand, Titre de l'article, Cachan: éditeur, 2019.

Projet BIM AuRA

S. LECHAUVE¹, J. BRUN¹, A. TALON², G. BERETA³

¹ *S!NCE*

² *UCA – Polytech Clermont-Ferrand - IP*

³ *Conseil Régional d'Auvergne Rhône Alpes*

Résumé

Le projet BIM AuRA vise la montée en compétences vis-à-vis du BIM de l'ensemble des acteurs du territoire Auvergne Rhône Alpes. Après avoir détaillé les objectifs de ce projet et les acteurs impliqués, la démarche générale basée sur l'outil de cartographie d'activité est présentée. Les objectifs des deux premières fiches actions en cours de réalisation sont ensuite décrits.

Mots clefs

Fiche action, territoire, cartographie.

1. Objectifs du projet BIM AuRA

A l'initiative de S. LECHAUVE dirigeante du cabinet S!NCE, accompagnée du Conseil Régional Auvergne Rhône Alpes et de Polytech Clermont-Ferrand, le projet BIM AuRA est une action sur le territoire de la région Auvergne Rhône Alpes qui vise à accompagner la montée en compétences des entreprises sur le BIM, en mettant en relation des étudiants, des projets réels et des objectifs communs destinés à répondre concrètement aux problématiques BIM rencontrées.

Les objectifs de ce projet sont :

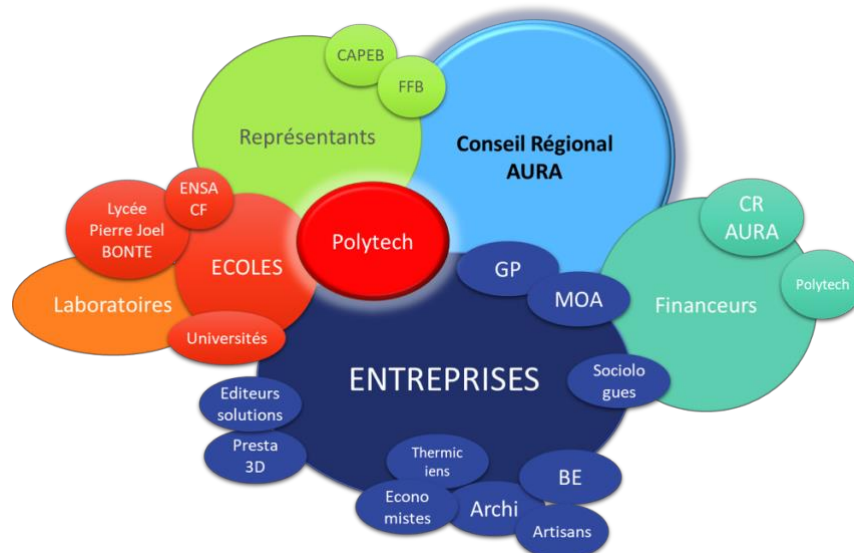
- D'échanger : en mettant en place le travail collaboratif opérationnel,
- De développer : en créant des supports de recherche et des expériences pour les étudiants,
- Expérimenter : en capitalisant l'expérience collective et créant des ressources pédagogiques,
- Mobiliser : en intégrant les acteurs dans l'action, quel que soit le niveau de maturité sur le BIM.

2. Acteurs

Les acteurs du projet BIM AuRA regroupent le comité de pilotage et l'ensemble des personnes du territoire à mobiliser sur le BIM.

Le comité de pilotage intègre le Cabinet S!NCE, le Conseil Régional Auvergne Rhône Alpes, Polytech Clermont-Ferrand, CRR Architecture, CIDECO, l'OPHIS du Puy de Dôme, NODAL, Cabinet BISIO. Il est garant de la structuration et du développement du projet via des réunions bi-mensuelles.

Les personnes à mobiliser sur le BIM sont identifiées à la figure suivante.



L'ensemble de ces acteurs est actuellement mobilisé en :

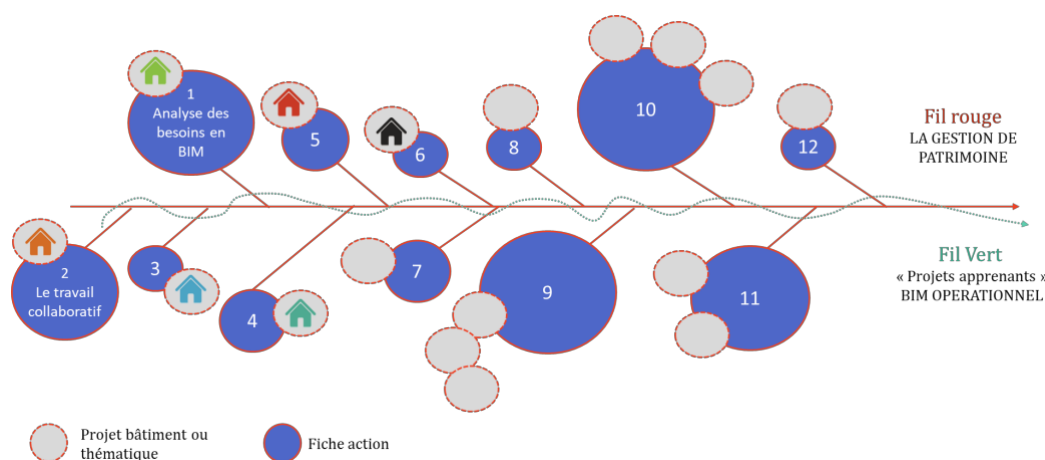
- Participant au comité de pilotage,
- Participant aux réunions de présentation du projet,
- Exprimant leurs besoins et attentes vis-à-vis du BIM via des enquêtes et interviews,
- Contribuant aux fiches actions décrites dans la partie suivante.

3. Démarche

La démarche de ce projet est :

1. Identifier les acteurs du territoire impliqués dans une approche BM,
2. Identifier les besoins et attentes de ces acteurs vis-à-vis du BIM et plus particulièrement de la gestion de patrimoine qui est une préoccupation majeure du territoire Auvergne Rhône Alpes. Cette étape a été réalisée à travers des enquêtes et interviews,
3. Faire émerger deux premières attentes,
4. Développer des fiches actions pour apporter des réponses à ces attentes,
5. Restituer ces fiches actions lors d'une présentation auprès de l'ensemble des acteurs intéressés par le BIM du territoire Auvergne Rhône Alpes le 7 juin 2019,
6. Répéter annuellement cette démarche :
 - a. Recueil des besoins,
 - b. Formalisation sous forme de fiches actions,
 - c. Développement des fiches actions,
 - d. Restitution à la profession.

Chaque fiche action doit permettre de mobiliser des acteurs pour répondre à un objectif commun, autour d'une problématique identifiée. La figure suivante illustre le principe des fiches actions.



4. Développement d'une fiche action

Une fiche action a pour objectif de répondre à des besoins et attentes identifiés. Elle regroupe :

- Des entreprises, des représentants, etc. : ceux qui expriment le besoin,
- Un ou des projets de construction supports permettant de s'appuyer sur des cas et problématiques concrets,
- Des étudiants qui apportent des solutions en s'appuyant sur les entreprises, les représentants, etc.,
- Le cabinet S'INCE qui apporte les outils méthodologiques et assure la coordination.

Les étudiants qui réalisent les deux premières fiches actions suivent actuellement le Mastère Spécialisé GP-BIM, le BIM pour la gestion intégrée des constructions. A terme, l'objectif est de faire travailler ensemble les étudiants / élèves des formations publiques clermontoises investies dans le BIM : les étudiants du MS GP-BIM, les élèves de la FCIL BIM (Formation Complémentaire d'Initiative Locale) du Lycée Pierre Joël BONTE et les étudiants de l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Clermont-Ferrand.

Les étudiants vont interviewer les entreprises à l'aide de l'outil de la cartographie d'activité, version développée par le cabinet S!NCE, compléter ce travail par des recherches bibliographiques et des tests éventuels puis fournir plusieurs livrables :

- Un rapport entreprise synthétique qui présente les résultats de l'interview,
- Un retour d'expérience : qui extrait les résultats de l'interview entreprise au regard des attentes de la fiche action,
- Un rapport général de la fiche action qui agrège les résultats des retours d'expérience de toutes les entreprises interviewées pour cette fiche action.

La cartographie d'activité est une méthode de collecte des informations relatives à une situation de travail donnée. Basée sur l'observation et l'échange avec un expert, elle permet de décrire tous les savoirs mobilisés lors la réalisation des modes opératoires liés à son poste de travail.

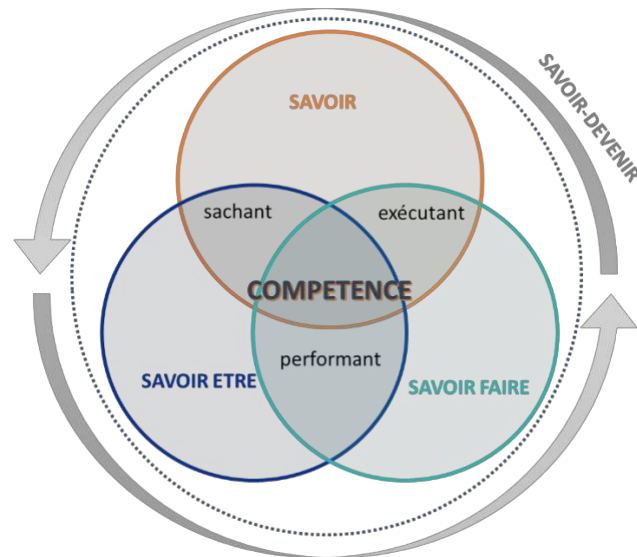
Elle décrit :

- Les gestes et les techniques,
- Les connaissances,
- La réglementation, les normes,
- Les capacités et qualités requises,
- Les bonnes pratiques, les non-conformités, la sécurité

Elle mesure l'écart entre le travail prescrit et le travail réel, elle analyse les flux d'activité, les flux d'information et les canaux de communication, entre différents opérateurs, métiers, ou services. Cette technique permet également d'identifier les besoins des acteurs audités.

Les savoirs, tels que représentés à la figure suivante, se définissent comme :

- Savoirs : connaissances, savoirs cognitifs, fondamentaux, procéduraux, formatifs...,
- Savoir être : capacités, qualités, attitudes, comportements d'un individu,
- Savoir faire : gestes, techniques, modes opératoires, le « comment » et le « pourquoi »,
- Savoir devenir : contexte, environnement, qui pousse à apprendre pour s'y adapter.



5. Deux premières fiches actions

Les thèmes des deux premières fiches actions développées sont :

- Définition des besoins de chaque intervenant sur un chantier et sur ses attentes vis-à-vis des autres acteurs.
- Le travail collaboratif, méthodes et bonnes pratiques.

Trois projets supports ont été sélectionnés pour leur diversité de typologie de travaux et parce qu'ils sont menés en BIM.

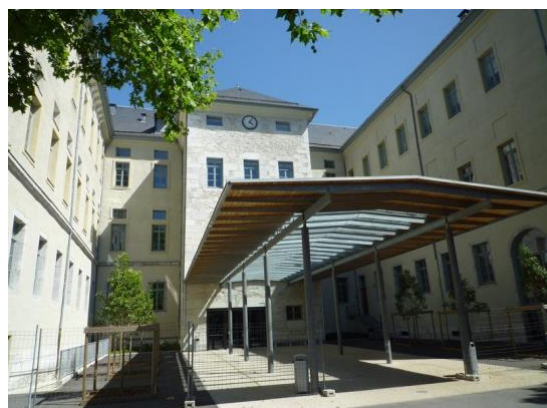
Pour le Lycée Roger CLAUSTRE à Clermont-Ferrand, des travaux de sécurisation, de réhabilitation et d'aménagements extérieurs/serrurerie/clôtures sont à réaliser. Une image de synthèse du projet est présentée à la figure suivante.



Le projet du Lycée Ambroise BRUGIERE à Clermont-Ferrand consiste en des travaux de construction : reconstruction plusieurs bâtiments. La figure suivante présente une image de synthèse.



Pour le Lycée VAUGELAS à Chambéry, il s'agit de la réalisation de travaux de rénovation (sur bâtiment historique) et de création d'une extension. Ce projet s'inscrit également dans une démarche de Haute Qualité Environnementale (HQE).



6. Conclusion

Le projet BIM AuRA qui a pour objectif la montée en compétences des entreprises sur le BIM, en mettant en relation des étudiants, des projets réels et des objectifs communs destinés à répondre concrètement aux problématiques BIM rencontrées. Il est engagé actuellement par la réalisation de deux fiches actions : (1) Définition des besoins de chaque intervenant sur un chantier et sur ses attentes vis-à-vis des autres acteurs et (2) Le travail collaboratif, méthodes et bonnes pratiques.

Le résultat de ces deux fiches actions seront présentés à l'ensemble des acteurs de la région Auvergne Rhone Alpes le 7 juin au Conseil Régional de Clermont-Ferrand.

L'objectif à plus long terme est de pérenniser cette démarche de réponse aux attentes des acteurs vis-à-vis du BIM sous forme de fiches actions s'appuyant sur une démarche d'expérimentation du BIM, de réalisation de cartographie des activités pour collecter les informations.

Session 2-A – Formations bac / bac+3

Numérisation 3D de masse

« indoor and outdoor »

BAGIEU Christophe¹

¹ Lycée Cantau – ANGLET (64)

Résumé

Dans le cadre des formations pour les métiers du BTP dispensées au sein du lycée Cantau, l'équipe pédagogique a décidé d'utiliser l'ensemble des infrastructures du lycée comme support de formation.

L'ambition est de disposer à terme d'une **maquette numérique complète** de l'ensemble des bâtiments (**intérieurs et extérieurs**). Cet article présente le premier pas vers la réalisation de cette maquette à savoir la numérisation 3D de l'ensemble des ouvrages du lycée.

Cette numérisation a été réalisée par les étudiants du BTS Géomètre Topographe et de la licence Pro GEO3D à l'aide d'outils de lasergrammétrie statique, dynamique et de photogrammétrie aérienne.

Ce travail, réalisé par les étudiants, se fonde dans les projets réalisés dans leurs formations respectives. Des professionnels sont également intervenus en soutien, notamment sur la partie lasergrammétrie dynamique.

Mots clefs

Lasergrammétrie, Photogrammétrie, MMS, Slam, acquisition 3D dynamique, nuage de points.

1. Contexte général du projet

1.1 La maquette numérique : outil de collaborations entre nos formations

Le lycée polyvalent Cantau d'Anglet forme aux métiers du bâtiment et de l'énergie du bac-3 au bac+3. Il propose notamment des CAP, des baccalauréats professionnels, des BTS et des licences professionnelles.

Depuis 2012, le lycée développe ses formations autour de l'acquisition de données en 3D et de la modélisation numérique du bâtiment. Le dynamisme du lycée Cantau sur ces domaines s'est notamment concrétisé par l'intégration du brevet de pilote de drone (ou télépilote) dans la formation de géomètre topographe dès 2015, et par l'ouverture en septembre 2017 de la licence pro GEO3D (formation présentée à l'occasion d'EduBIM 2018).

Afin de disposer d'un nouveau support pédagogique exploitable dans les nombreuses formations du lycée, il a été entrepris cette année de faire numériser puis modéliser l'ensemble du lycée par les étudiants dans leurs différentes formations.



Figure 4-1 - Vue aérienne du lycée Cantau d'Anglet (source : GoogleMap)

L'objectif de cet article est de présenter la première étape du travail réalisé à ce jour, à savoir la numérisation complète du lycée sous forme d'un nuage de points.

2. Les formations à l'acquisition de nuages de points

Les programmes pédagogiques des sections BTS MGTMN et Licence GEO 3D concernées contiennent l'acquisition, le traitement et l'exploitation du nuage de points 3D multi vecteur (photogrammétrie terrestre et aérienne, lasergrammétrie statique et dynamique).

Ce projet de numérisation 3D constitue donc un sujet de travaux pratiques et des sujets de projet de fin d'études pour nos étudiants.



Figure 4-2 - Support de présentation de la licence Pro GEO3D (présentée lors d'EduBIM 2018)

La particularité du lycée est que nous sommes exploitant aéronautique, que nous disposons de drones quadricoptères et hexacoptères professionnels. Les étudiants obtiennent le permis « drone » dans le cadre de leur formation au sein du lycée.



Figure 4-3 - Drones du lycée : à gauche HELICEO FOX6 (7.5 kg) ; à droite PHATOM 4 PRO V2 (1.9 kg)

Les sections « géomètre-topographe » disposent également d'appareils photos numériques et de scanners laser statique. En outre nos partenariats professionnels tissés depuis de longues années nous permettent de nous procurer temporairement les matériels optimums du marché, notamment pour la lasergrammétrie dynamique.

3. L'emprise du projet

L'emprise foncière du lycée est d'environ une dizaine d'hectares avec vingt bâtiments contenant administration, salles de classe, ateliers et logements de fonction (10 000 m² de plancher).

Les bâtiments de type « toiture –terrasse » sont au maximum des R+4.

4. L'approche pédagogique

4.1 Compétences à acquérir par les étudiants

Dans le cadre de ce projet pédagogique nous avons décidé d'utiliser tous les matériels professionnels possibles afin de numériser, comparer et faire analyser par nos étudiants les résultats obtenus.

Les compétences recherchées sont :

- Pour les BTS MGTMN, la maîtrise d'acquisition et de traitement de nuages de points simples (un seul bâtiment par exemple).
- Pour les Licences GEO 3D, l'approche générale des technologies du marché, leur maîtrise et analyse.

4.2 Méthodes d'évaluation

Les évaluations sont à la fois formatives et sommatives par le biais de travaux pratiques (BTS), comptes rendus et PFE (Licence).

4.3 Retour des étudiants

Voici une des conclusions des étudiants :

« On constate que plus on avance dans le temps, plus l'évolution des technologies est grandissante et rapide. Pour ne pas être dépassé par toutes ces nouveautés nous avons besoin d'être curieux et de s'informer sur les nouveaux matériels présentés sur les salons spécialisés par exemple. Demain nous devons nous même nous tenir au courant régulièrement en s'informant, participant à des conférences et salons et en regardant ce qui se passe dans les autres pays ».

5. Méthodologie d'acquisition, Matériel utilisé et Traitement des données

5.1 Numérisation des toitures et parties hautes de bâtiments

La formation des étudiants du lycée Cantau (BTS Géomètre Topographe, Licence Pro GEO3D) laissant une part importante à la photogrammétrie aérienne, une des ambitions du projet était de réaliser l'acquisition des toitures et parties hautes des bâtiments à l'aide de drones.

Usuellement le choix du vecteur (drone) à utiliser est fonction des paramètres suivants :

- Etendue de la zone à lever,
- Précision du lever espérée, elle-même fonction de :

- L'appareil photo numérique pouvant être embarqué (focale, étalonnage, dimension du capteur...) ;
- La hauteur de vol autorisée (ici nous sommes limités à 30 m en raison de la proximité de l'aéroport de Biarritz) ;
- Le « Ground Sample Distance » ou GSD qui correspond à la taille de l'objet représenté sur un pixel ;
- La sécurité du vol (le lycée est situé en centre-ville, ici une zone peuplée S3) ;
- La configuration topographique des lieux (ici des ruptures de pentes modérées).

Le drone FOX6 est le plus adapté pour les paramètres de précision et rendu final, néanmoins la sécurité étant primordiale dans ce genre de configuration **S3**, nous avons opté pour le PHANTOM 4 PRO V2.

Après avoir positionné des cibles au sol géoréférencées, les étudiants ont réalisé une vingtaine de vols consécutifs de 6 minutes avec des angles de cameras différents afin de caractériser la zone de façon adéquate.

Certaines cibles sont utilisées pour réaliser le calcul du nuage de points et le reste des cibles est utilisé pour contrôler la précision du résultat.



Figure 4-4 –Programmation du vol sur PIX4D Capture (à gauche) et Relevé GNSS des cibles (à droite)

A l'issue du vol et du traitement des données les étudiants ont comparé les temps de calcul et la qualité des nuages de points obtenus.

	Temps d'acquisition	Précision	Durée du traitement
PIX 4D	1h30	1 à 3 cm	36h
Photoscan	1h30	2 à 3 cm	34h

En conclusion, nous observons que les résultats sont équivalents (à part quelques points spécifiques près).

Le temps de calcul machine est très contraignant. Dans notre cas (4000 images) deux jours de traitement ont été nécessaire à l'aide du logiciel Pix4D pour obtenir le nuage de points avec un ordinateur équipé d'un I7, et 64Go de RAM.



Figure 4-5 –Nuage de points obtenu après traitement des images.

Le résultat obtenu ci-dessus (après validation et contrôle) est issu du logiciel PIX4D, nous pouvons confirmer que les parties hautes et le terrain naturel sont correctement numérisés. Néanmoins les façades et éléments verticaux ne sont pas correctement caractérisés, ce qui est normal compte tenu des paramétrages de nos vols où les photographies ont été essentiellement prises au nadir (à l'aplomb du drone).

Il nous faut donc compléter notre modèle avec de l'acquisition au sol.

5.2 Numérisation des façades et extérieurs des bâtiments

La numérisation des façades des bâtiments a été réalisée par les étudiants à l'aide de scanners laser statiques et dynamique. Dans le cadre de leur formation, le contrôle des données acquises et la qualification de la précision, est un élément très important. Afin de travailler avec eux sur cet aspect, nous avons combiné différents matériels. Une partie du travail des étudiants a donc consisté à comparer et analyser les résultats obtenus avec les différents appareils.

Dans le cadre de ce projet, nous avons utilisé le matériel suivant :

A. En lasergrammétrie statique (pour des besoins de détails et de précision)

			
FARO X130	LEICA P40	TRIMBLE SX10	TRIMBLE TX8

Figure 4-6 – Scanner 3D statiques exploités dans le cadre du projet

B. En lasergrammétrie dynamique ou MMS (pour l'efficacité, le rendement d'acquisition et comparaison)



Figure 4-7 –ROBIN Mobile-mapping-système (à gauche) et LEICA Pegasus Backpack (à droite)

A l'issue de l'acquisition et du traitement des données issues du ROBIN Mobile-mapping-système et du LEICA Pegasus Backpack, les étudiants ont pu obtenir le nuage de point ci-dessous. La densité de points est plus faible qu'en lasergrammétrie statique mais la rapidité d'acquisition est sans commune mesure avec les scanners statiques. Ce dernier point se révèle essentiel étant donnée l'étendue du lycée.

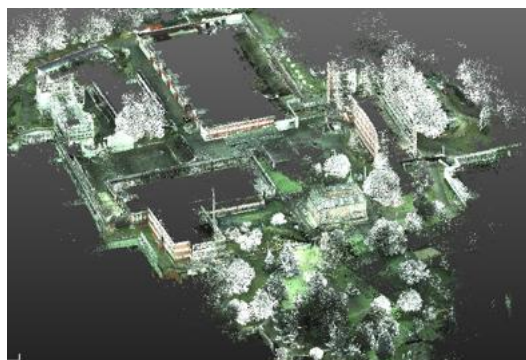


Figure 4-8 - Acquisition : 55 mn – traitement : 3 h

Contrairement à la photogrammétrie par drone, les façades sont bien caractérisées mais les parties hautes sont inexistantes car invisibles. Les deux techniques sont complémentaires.

Afin de permettre d'autres projets pédagogiques sur des bâtiments emblématiques du lycée (exemple « le château ») nous avons besoin d'une précision accrue dans le nuage de points au voisinage et sur les façades de ce bâtiment. Pour cela les étudiants ont circulé autour de ce dernier avec un scanner

statique afin de compléter les informations et augmenter la densité de points et la précision. Bien évidemment le temps d'acquisition et de traitement est plus conséquent.



Figure 4-9 - Acquisition : 2 h – traitement : 4 h

La concaténation des nuages de points réalisés à l'extérieur du lycée a été réalisée à l'aide du logiciel TRIMBLE REAL WORKS.

5.3 Numérisation des intérieurs de bâtiments

La numérisation des intérieurs des bâtiments a été réalisée en combinant des outils de lasergrammétrie statique (présentés ci-dessus) et des matériels dynamiques utilisant l'algorithme de lasergrammétrie « SLAM ».

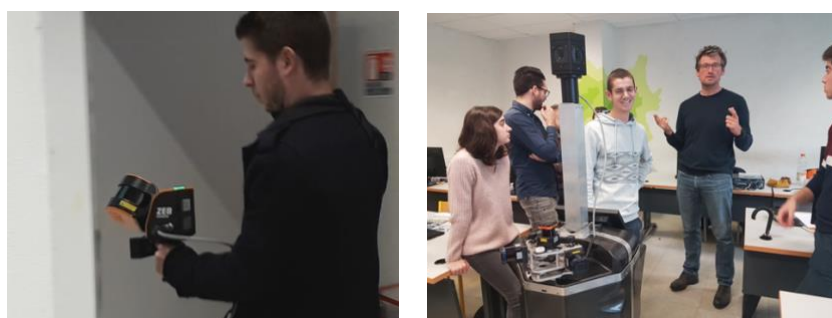


Figure 4-10 - ZEB-HORIZON GEOSLAM (à gauche) et IMMS VIAMETRIS (à droite)

Ce travail est long compte tenu de la surface de plancher, mais optimisé grâce aux techniques employées, à ce jour nous disposons de la moitié des bâtiments du lycée.

Voici en exemple un des nuages de points, issu du Back Pack indoor.



Figure 4-11 – Nuage de points réalisé dans l'atelier de maçonnerie (<https://youtu.be/p9OIeyxxFLY>)

6. Assemblage total et analyse.

Cette phase est ardue et doit être menée de façon rigoureuse et appliquée. Elle est donc très formatrice pour nos étudiants. Elle nous permet de valider les résultats obtenus, de quantifier les écarts entre technologies et enfin d'analyser les avantages et inconvénients de chacune d'entre elles.

Une fois cette démarche menée à son terme nous pouvons valider le nuage de points qui sera l'étalon de la modélisation future.



Figure 4-12 - Visualisation du nuage de points final dans Trimble REAL WORKS

7. Conclusion

Ce projet extrêmement ambitieux n'a pu être mené qu'avec l'assentiment de tous : étudiants, partenaires et équipe pédagogique. Nous les remercions chaleureusement.

Les étudiants ont pu, par cette approche exhaustive des matériels, des acquisitions et des traitements, se forger une vision globale très représentative des technologies d'aujourd'hui et de demain. Ils seront en charge de porter et de réaliser les numérisations de demain, ils savent désormais que ces technologies sont en perpétuel changement et qu'il faudra rester **curieux** sous peine se trouver "sur le bord de la route".

Ils devront garder cependant leur **esprit d'analyse et de contrôle** pour certifier leur travail et dominer ces technologies : "ils utiliseront de l'intelligence embarquée mais ils devront embarquer de l'intelligence".

Nous terminons la première étape essentielle à la réalisation de la maquette "tel que construit" et allons maintenant débiter la modélisation des bâtiments avec les autres étudiants du lycée.

Se former par les méthodes collaboratives

Nadia ESTANG ¹, Jean Philippe GAVET²

¹ *Lycée Charles de Gaulle – MURET (31)*

² *Lycée Louis VICAT – SOUILLAC (46)*

Résumé

Application de la démarche BIM en BTS FED

L'expérimentation a été faite avec des classes de spécialités différentes de FED (Fluides, Énergies et Domotique) et de deux lycées différents, lycées Charles de Gaulle de Muret et Louis Vicat de Souillac. Les enseignants ressources pour ce projet sont Jean-Philippe GAVET (LV) et Nadia ESTANG (CDG). Les équipes ont été constituées pour le CDG de 4 étudiants de FED Domotique, Bâtiments Communicants (DBC), de 2 étudiants de FED Génie Climatique et Fluidique (GCF) et pour LV de 2 étudiants FED GCF. Cette expérimentation a été menée dans le cadre de la préparation de l'épreuve U61, où l'utilisation de la maquette BIM sera obligatoire en 2020.

L'objectif de ce projet était de rénover la Maison Jallier à Carbonne, siège de la Communauté de Communes du Volvestre et du futur siège du PETR du Pays Sud Toulousain (3 plateaux de 800 m²). L'appel d'offres public a été lancé de manière classique, et le **PST** a demandé aux étudiants de traiter les lots CVC, éclairage, incendie, intrusion, VDI et GTB en utilisant le processus BIM afin de faire un retour d'expérience aux élus. Pour cela il a financé le scan du bâtiment.

Une entreprise partenaire, EnerBim, a réalisé la maquette numérique 3D (Revit) de l'existant à partir du scan3D. À partir de celle-ci, les étudiants ont réalisé et étudié ce projet, à partir des plans fournis par l'architecte, en menant les études thermiques Été et Hiver, d'éclairage naturel et artificiel, en utilisant plusieurs logiciels métiers (Climawin, Archiwizard, Dialux,...) et avec l'appui des plugins de Revit.

Plusieurs expériences ont été réalisées par les enseignants avant de proposer aux étudiants de travailler en BIM niveau 2 et de suivre une convention et charte BIM leur permettant d'implanter leurs solutions dans leurs maquettes sous divers projets, intégrés dans la maquette centrale. Les gabarits REVIT MEP utilisés sont issus du logiciel STABICAD de la société STABIPLAN aujourd'hui devenue TRIMBLE MEP. La charte a été bien suivie, il n'y a pas eu de « clash » lors de la réunion des sous projets en une seule maquette, et les étudiants ont pu le 8 juin 2018 faire leurs présentations devant les élus.

L'entreprise EnerBim a développé un carnet numérique à partir du travail des étudiants qui a également été présenté ce jour-là. La communauté de communes du Volvestre a retenu le carnet numérique pour son projet, et les élus ont été très intéressés par ce retour d'expérience. Deux nouveaux projets BIM vont être réalisés en 2019 sur ce territoire.

Mots clefs

BIM, Méthodes collaboratives, Maquette numérique, Expérimentations BIM, BTS FED,

1. Différentes étapes du projet



2. Intérêt affiché du BIM dans ce projet



Le BIM : outil pédagogique et transparent pour tous les intervenants, y compris les donneurs d'ordre. Il leur permet de bien visualiser les travaux, de se représenter l'ouvrage fini, et donc d'orienter leurs choix de façon avisée.



Le Pays Sud Toulousain voulait faire de ce projet un exemple pour expliquer le BIM aux élus même si la procédure ne va pas être appliquée de A à Z.

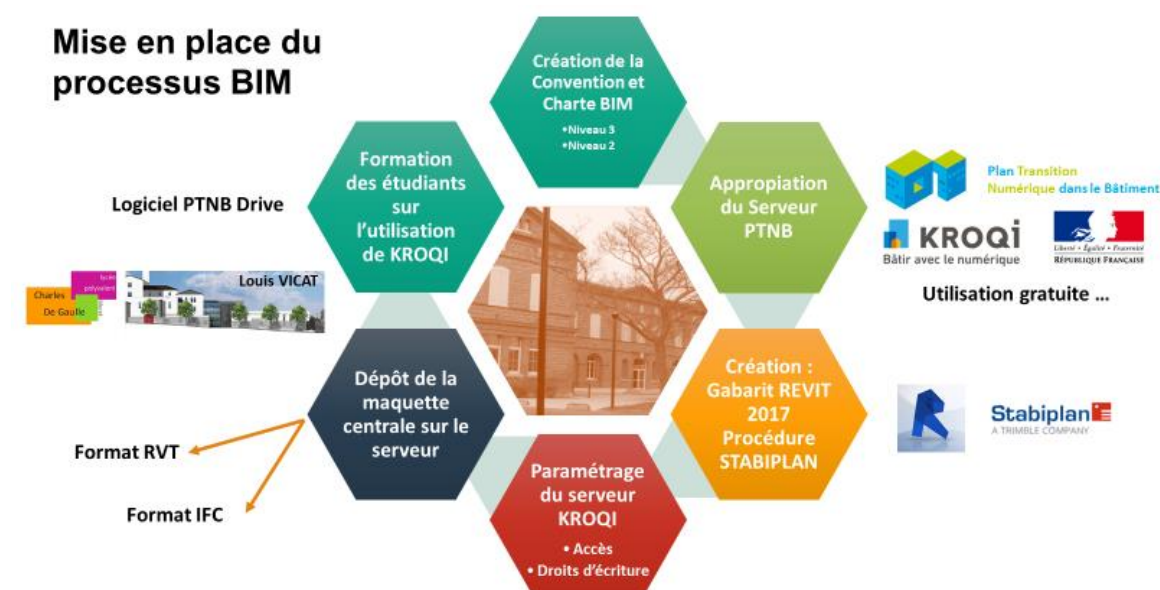
Le but est d'être catalyseur sur le territoire.

3. Objectifs des enseignants

- Intégrer et appliquer :** la démarche BIM dans nos filières du Bâtiment
- Initier et renforcer :** la collaboration de groupes de travail de spécialités différentes et à distance (200kms)
- Définir, organiser, gérer :** le travail en BIM
(BIM MANAGER, Coordinateur, Producteurs BIM)
- Accompagner :** les étudiants dans la démarche (logiciels, temps personnel, ...)
- Etablir :** un bilan de l'expérimentation

4. Développement du processus BIM dans le projet

La mise en place du processus BIM a demandé aux enseignants de réaliser une démarche commune dans les deux établissements



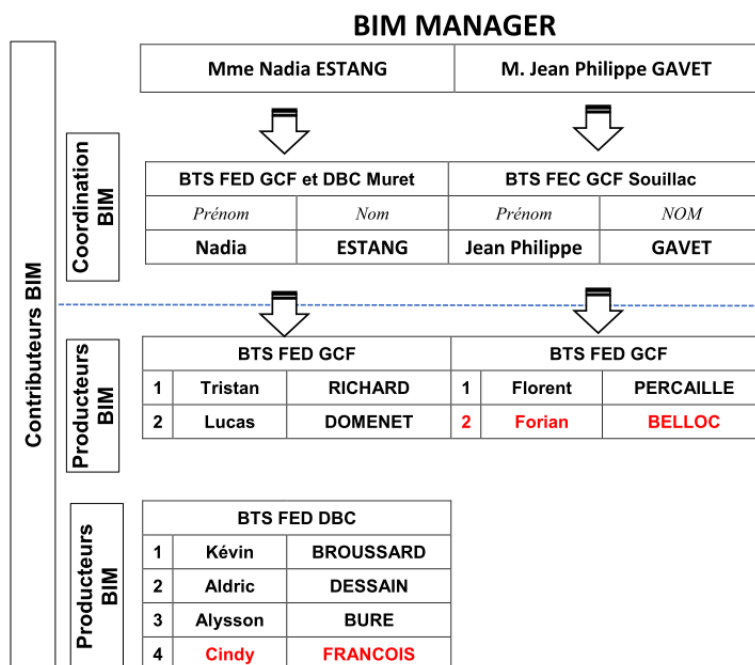
5. Création des documents : Convention et charte

(Base Eduscol: http://eduscol.education.fr/sti/ressources_pedagogiques/bim-chartes-et-conventions-bim#description)

Des documents spécifiques ont été élaborés par les deux enseignants afin d'encadrer le travail à réaliser par les équipes.



6. Présentation des équipes

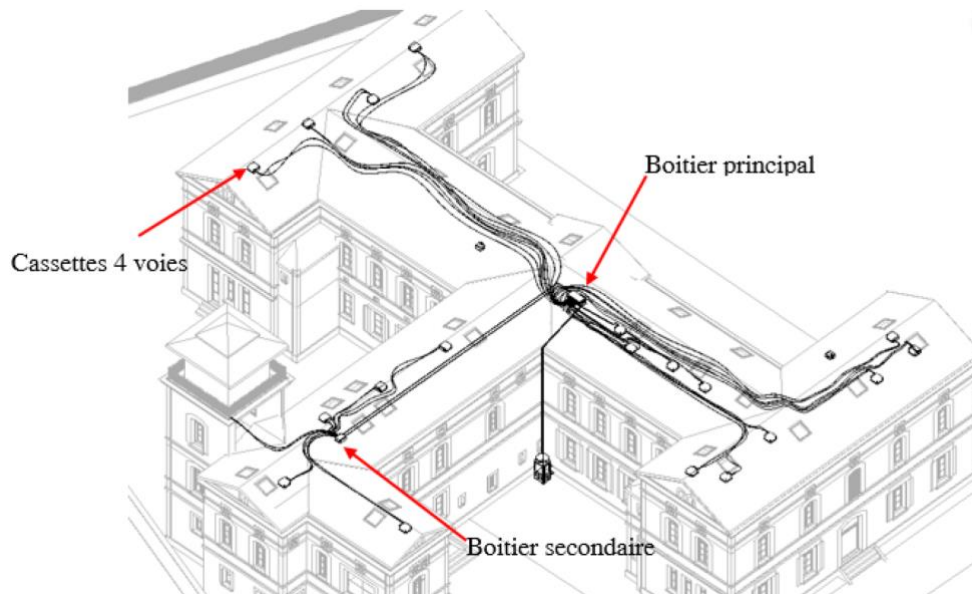


En Rouge : Coordinateurs BIM par lycée

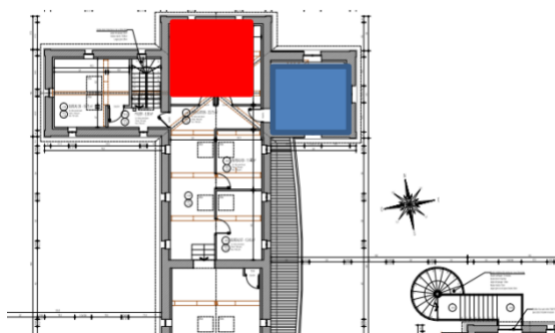
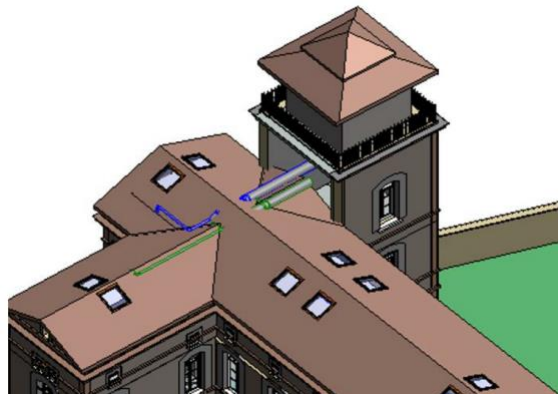
GCF : Génie Climatique et Fluidique -- **DBC** : Domotique et Bâtiments Communicants

7. Productions BIM (Exemples de rendus des équipes)

1) Réseau de distribution de chaleur (Eté et HIVER) – Système VRV



2) Réseau d'air : Exemples de résolutions de clashes Proposition du déplacement du local technique



Ancien local technique
Nouveau local technique

8. Retour expérimentation :

Invitation à destination des équipes de travail des deux lycées, des enseignants et des membres du Pays Sud Toulousain



INVITATION

Monsieur Gérard ROUJAS

Président du Pays Sud Toulousain,

Monsieur Denis TURREL

Président de la Communauté de Communes du Volvestre,

Ont le plaisir de vous convier à une matinée d'information :

Innovation et Bâtiments

La technologie BIM (Modélisation des données du bâtiment),
appliquée aux bâtiments publics

Vendredi 8 juin 2018

de 9h30 à 11h30

**Salle du conseil communautaire de
la Communauté de Communes du Volvestre**
34 avenue de Toulouse 31390 Carbonne

- La société EnerBIM interviendra sur l'intérêt du BIM pour les bâtiments publics

- Qu'est-ce que le BIM ?
- Quelle plus-value pour le maître d'ouvrage ?
- Comment utiliser cette technologie aujourd'hui ?

BIM CLUB en Afrique du Sud

François LAGLEIZE³

LYCEE ROSA PARKS, LA ROCHE SUR YON (F)

NELSON MANDELA UNIVERSITY, PORT ELIZABETH (SA)

TVET EASTCAPE MIDLANDS COLLEGE, UITENHAGE (SA)

Résumé

Suite à la mission de F. Lagleize en Afrique du Sud autour du BIM, des collègues de Rosa Parks se sont lancés dans l'aventure : Travaux collaboratifs, Voyage d'une semaine avec une classe de BacPro, projets de missions en Afrique du Sud d'un ou deux mois, élargissement au Lycée Monge de Nantes Ca bouge entre les deux Hémisphères !

Mots clefs

Afrique du Sud, BIM, Mobilité



1. Mission Jules Verne août 2017 à août 2018

1.1 Historique

Ce rapport synthétique présente le contexte et les résultats obtenus lors de la mission de François LAGLEIZE.

Je suis professeur Agrégé SII, j'enseigne en BTS FED (Fluides Energies Domotique) au Lycée Rosa Parks de La Roche sur Yon. Je suis parti un an en mission « Jules Verne » d'août 2017 à août 2018 à Port Elizabeth

Une délégation française s'était rendue en Afrique du Sud et avait établi des contacts avec la Nelson Mandela University et s'était rendue au TVET d'Uitenhage.

L'Afrique du Sud a un système éducatif bâti du temps de l'Apartheid, il y a le souhait de monter le niveau des "TVET"(Technical and Vocational Education and Training).

Le thème porteur retenu a été de proposer des cours et activités autour du BIM (Building Information Modeling), nouvelle démarche permettant d'améliorer l'efficacité de la conception à la réalisation ainsi que pour la maintenance du bâtiment.

1.2 Objectifs 2017-2018

Créer des liens entre le TVET d'Uitenhage et un Lycée de l'Académie de Nantes en s'appuyant sur les contacts pris avec la Nelson Mandela University (NMU) de Port Elizabeth.

2. Bilan

2.1 Etat des lieux

Au TVET (ce sont l'équivalent des Lycées Professionnels avec un recrutement post Bac d'étudiants qui étaient jusqu'alors en filières générales)

- 4 semaines de cours sur 10 semaines d'un trimestre, les autres semaines sont prises par les inscriptions, des tests et des examens qui conditionnent l'accès au trimestre suivant, les étudiants sont constamment sous pression.

A l'Université

- Les enseignants sont hyper spécialisés : en Génie Civil : un n'enseigne que les réseaux d'évacuation des eaux pluviales pour un quartier ou une ville, un autre seulement les eaux usées ...

- L'année de Master est une année avec très peu de cours et avec la production d'un Mémoire d'études qui est en fait une recherche documentaire sur un sujet.

- Aucune utilisation de l'outil informatique sauf Excel pour le mètre.

Difficile de glisser du BIM et du Revit ainsi que du travail collaboratif dans un enseignement si divisé.

2.2 Les résultats

- Un BIM club créé à l'Université et un deuxième au TVET.
- Pour l'instant aucune prise en compte possible du BIM au niveau des examens
- Le cours de 4 heures sur le BIM trouve facilement sa place
- A l'Université la participation au club est épisodique pour la plupart des étudiants qui se contentent de la prise en main en 4 ou 6 heures
- Au TVET l'atelier BIM est dans l'emploi du temps, qui compte au mieux 5 semaines de cours sur 10 semaines de présence.
- Les professeurs et lecturers considèrent que ce n'est pas dans leur mission d'apprendre Revit aux étudiants. A part une exception dans chaque établissement ils ne se sont pas investis.
- Au niveau licence et au TVET les étudiants ne font pas de projets industriels.

2.3 Suites à donner

- Aider et supporter JP collègue de la NMU (Nelson Mandela University de Port Elizabeth) et Thareef au TVET d'Uitenhage (Technical and Vocational Education and Training) pour qu'ils fassent vivre le BIM dans leurs établissements
- Projet de voyage d'une classe de Bac Pro Technicien d'études du bâtiment assistant en architecture (TB2A) du Lycée Rosa Parks de La Roche sur Yon en novembre 2018.
- BIM Week en avril avec venue de collègues français.
- Venue d'étudiants et de collègues du TVET au Lycée Rosa Parks

2.4 Voyage en Afrique du Sud du 5 au 14 novembre 2018

Une classe de 15 élèves de Terminale Bac pro Technicien d'études du bâtiment assistant en architecture (TB2A) du Lycée Rosa Parks de La Roche sur Yon et

une délégation d'enseignants et de personnel de Direction.

Un succès, très bon accueil et complicité entre les élèves, les collègues français et sud-africains.

Un Memorandum of Understanding a été signé par la Proviseure adjointe du Lycée Rosa Parks et le Principal du TVET.

Pour le déroulement, les sourires et visages seront plus explicites que de longs textes, regardez bien la présentation.

3. Les supports de travaux collaboratifs

Au Lycée Rosa Parks de La Roche sur Yon

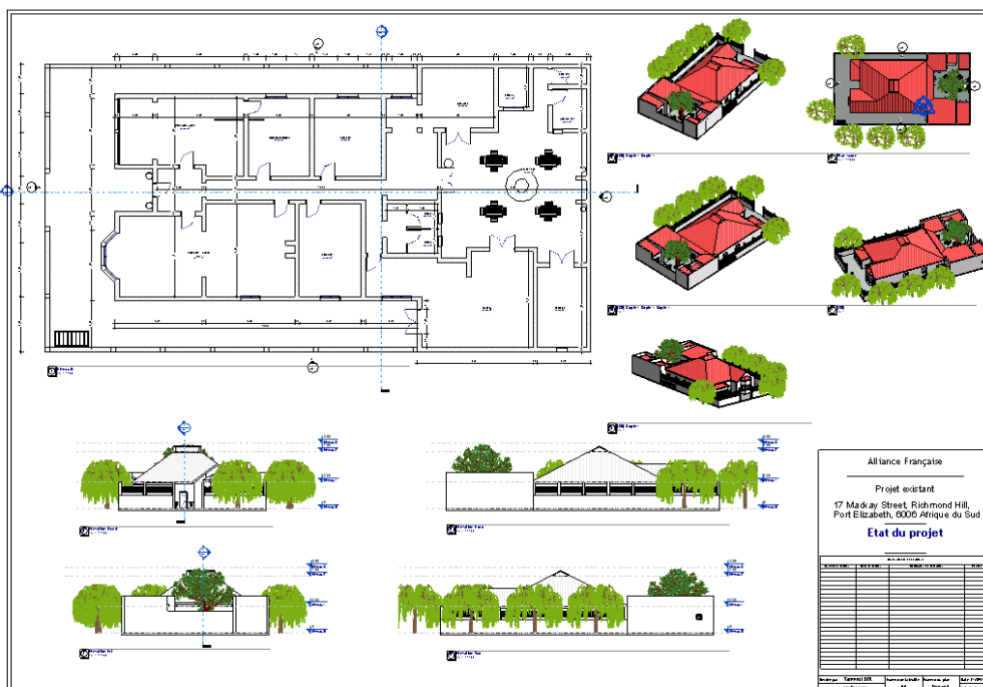
À la SEGT

- **BTS ERA** : Visite virtuelle du réaménagement de locaux de l'Alliance française de Port Elizabeth en "Café parisien" – B.FAUCHER



Section Professionnelle

- Modèle 3D sous Revit de l'Alliance Française avec 1ère Bac Pro AA - L. POUPEAU et D. CARPENTIER



Objectif : d'après les plans 2D de l'état existant proposer l'extension du bâtiment.
- Projet Container avec Terminale Bac Pro AA - C. ROCHEDREUX et S. HELIERE
Objectif : dans le cadre du Concours BATISSIEL plus, créer un habitat durable et connecté

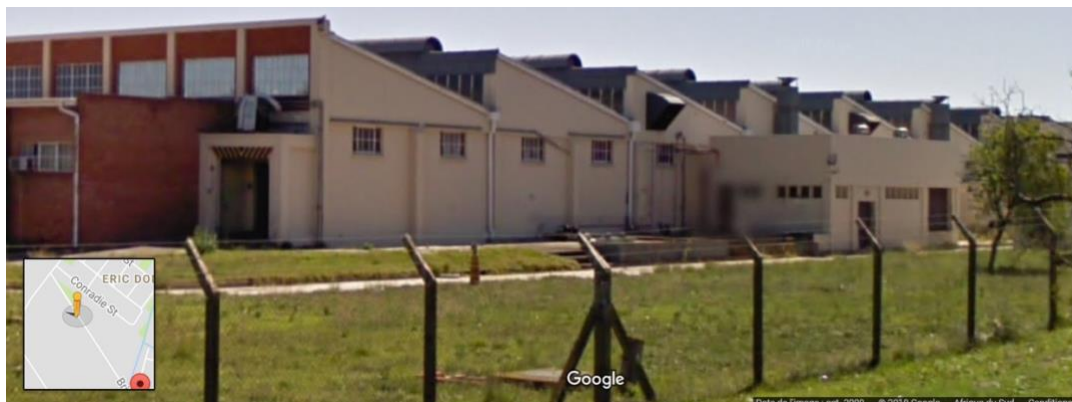


Au Lycée Monge de Nantes en BTS FED

- BTS FED1 : Modèle de l'Alliance Française
- BTS FED1 : en anglais : Tutoriels sur des sujets de Revit
 - 2 visio-conférences par Skype. Relations amicales via Internet

En projet pour l'année 2019-2020

- Relevé d'un atelier d'une ancienne usine, propriété du TVET par les étudiants sudafricains, création de salles de cours par les sudafricains et les Bac pro de Rosa Parks, aménagement des salles par les BTS ERA, ventilation par les BTS FED de Rosa Parks et du Lycée Monge de Nantes.



Ailleurs

Projet de collaboration de Recherches sur le BIM entre la Nelson Mandela University et L'université de Lorraine. Réponse conjointe au programme Protéa émis par l'Ambassade de France. L'interlocuteur sudafricain n'a pas donné suite.

4. Bibliographie

<http://eduscol.education.fr/sti/articles/bim-en-afrique-du-sud>

Session 2-B – Formations bac+3 / bac+6

Du nuage de points à la simulation thermique d'un groupe de bâtiments existant via un modèle BIM

Eduard Antaluca¹, Fabien Lamarque¹, Eve Ross²

¹ *Département GSU, UTC*

² *UTC/LCOMS Université de Lorraine*

Résumé

L'objectif de cette présentation est de montrer une méthodologie élaborée par un groupe d'étudiants de l'université de technologie de Compiègne (UTC) dans le cadre d'un projet pédagogique en collaboration avec l'Hermitage Le Lab. Ce projet a été réalisé dans le cadre d'une formation par projet nommée Atelier projet.

Mots clefs

Modélisation/simulation, réhabilitation, interopérabilité, lasergrammétrie

1. Introduction

Dans le cadre de la formation en Génie des Systèmes Urbains, il est possible de réaliser des projets pour le compte d'intervenants extérieurs, que ce soit des acteurs publics ou privés. Une telle UV nommée Atelier-projet est l'occasion pour les étudiants de mettre en pratique les connaissances accumulées durant toutes leurs années d'étude et de se préparer pour leur futur métier d'ingénieur. Le travail de groupe en autogestion, où les enseignants ne sont que des encadrants, est une valeur ajoutée dans le cursus des étudiants en Génie des Systèmes Urbains. Les étudiants doivent articuler des compétences de science de l'ingénieur et de sciences humaines et sociales afin de reformuler une demande sociétale en une problématique d'ingénierie dans une approche transdisciplinaire.

Pour ce projet, dix-neuf étudiants-ingénieurs (de Bac + 2 à Bac + 5) ont effectué, en réponse à une demande du Hermitage Le Lab, une modélisation BIM du site en se basant sur les nouvelles technologies de numérisation 3D, mises à leur disposition par la plateforme *PLEMO3D*¹², et sur les logiciels de modélisation BIM et thermique en vue d'une réhabilitation énergétique du site.

L'Hermitage, un site de plusieurs bâtiments au cœur d'un milieu agricole et boisé, est un lieu de partage où les enjeux contemporains majeurs sont soulevés (Figure 7-1). Dans le cadre de l'atelier projet, les étudiants ont contribué à la réflexion sur la transition énergétique des bâtiments du site. Ils ont utilisé les nouvelles technologies numériques (lasergrammétrie) afin d'acquérir des données sur les structures existantes. Ils ont partagé également les valeurs prônées par le Lab Hermitage, comme le vivre-ensemble, où les connaissances et expériences de professionnels, d'enseignants, d'étudiants et d'habitants du site.



Figure 7-1 - Plan de situation

¹² PLEMO 3D est une plateforme mobile d'outils numériques pour la numérisation et la modélisation 3D de Sorbonne Université (<http://www.sorbonne-universites.fr/actions/recherche/actions-structurantes/plemo-3d.html>)

Dans le cadre de ce travail, les missions confiées sont (Figure 7-2) :

- de proposer une modélisation Revit en s'aidant de nuages de points acquis par scanner laser ;
- de réaliser un audit visuel sur l'état physique des bâtiments afin d'acquérir une base de données ;
- de réaliser une simulation thermique de l'existant en utilisant le logiciel Pléiades Comfie ;
- de proposer des solutions de rénovation en phase avec l'éco-construction afin de pallier aux problèmes soulevés lors de la simulation thermique et de l'audit ;
- de prendre sur place des mesures météorologiques aux moyens de capteurs extérieurs et intérieurs.

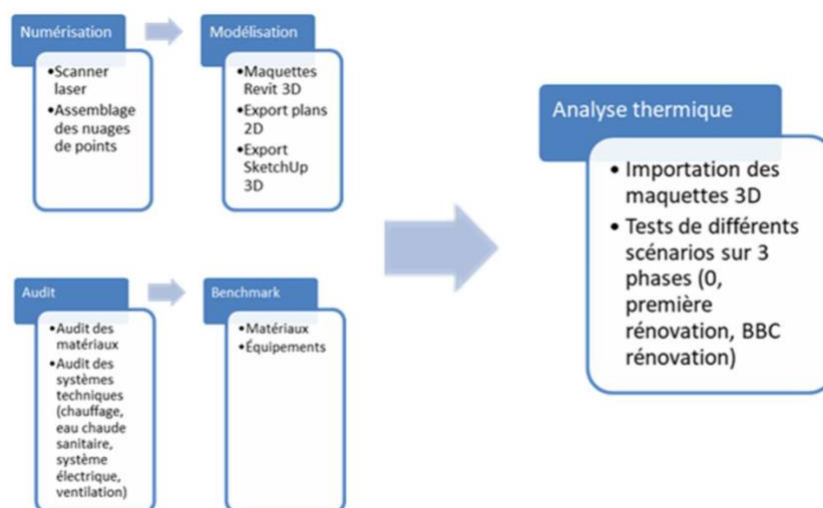


Figure 7-2 - Missions à réaliser

2. Réalisation de la maquette numérique du site

2.1 Numérisation

Afin de modéliser les bâtiments du projet Hermitage Le Lab, les étudiants ont procédé d'abord à l'obtention des nuages de points par scanner laser. En assemblant les différents scans dans le logiciel Autodesk Recap, les étudiants ont obtenu des représentations 3D des bâtiments sous forme de nuages de points. Sur l'exemple ci-dessous (Figure 7-3) on peut voir sous la forme de petites bulles les emplacements où les scans ont été faits. Les nuages de points ont servi ensuite de calque (dans Autodesk Revit) sur lesquels les étudiants ont pu construire un modèle solide CAO de type BIM.

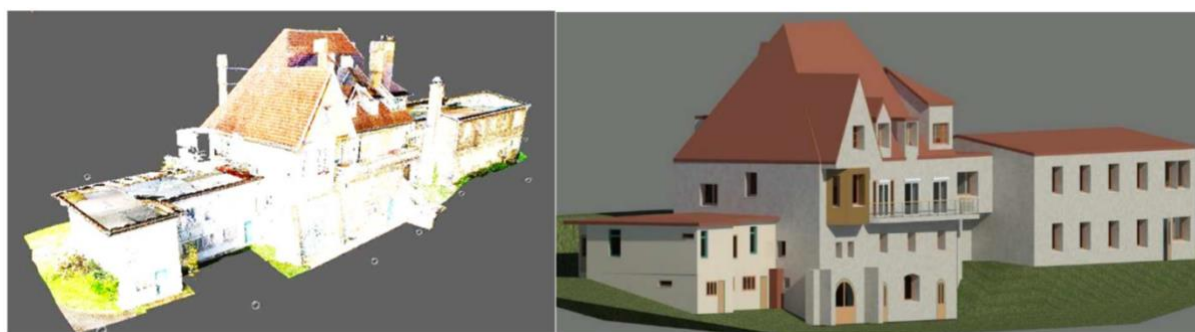


Figure 7-3 - Nuage de point assemblé et modèle BIM pour la grande bâtisse (exemple)

2.2 Modélisation BIM

De façon générale une maquette numérique de type BIM doit pouvoir être ouverte par l'ensemble des acteurs du projet avec leurs logiciels spécifiques. Cela suppose que la maquette doit être accessible par tous, notamment grâce à la mise en place d'un serveur local ou sur le web à l'aide d'un cloud.

Dans le cadre de ce projet les différentes maquettes BIM ont été réalisées en utilisant le mode collaboratif de Revit. Afin de rendre possible cette collaboration, un système de nomenclature a été mis en place pour nommer les différents éléments de la maquette tels que les menuiseries, les murs ou encore les pièces. Quelques exemples des règles définies pour une réalisation d'une nomenclature normalisée sont présentés ci-dessous :

- les fenêtres sont nommées selon la façade et le niveau ;
- le nom des murs indique intérieur ou extérieur ainsi que l'épaisseur du mur ;
- les pièces sont nommées selon le niveau sur lequel elles se trouvent ainsi que les éventuels noms des sous-bâtimENTS auxquels elles appartiennent.

2.3 Modélisation du site

Le modèle du site avec les différents bâtiments a été réalisé à l'aide du logiciel Autodesk Infraworks. Le logiciel récupère les données de topographie du terrain via la base de données OpenStreetMap. Cela a donné un modèle de terrain du site avec des modèles simplifiés des bâtiments et des tracés de route. Ce modèle a été ensuite amélioré en remplaçant les modèles de bâtiments simplifiés avec les modèles modélisés sur Revit à partir des nuages de points (Figure 7-4).



Figure 7-4 - Modèle du site de l'Hermitage avec Infraworks

3. Etude thermique

L'étude thermique des bâtiments a été effectuée sur le logiciel Pléiades-Comfie. Elle permet de faire un état des performances thermiques actuelles des chalets. Les maquettes Revit des chalets ont été enregistrées sous le format gbXML, puis ouvertes sur un importateur BIM afin de les importer dans le logiciel Pléiades (Figure 7-5).

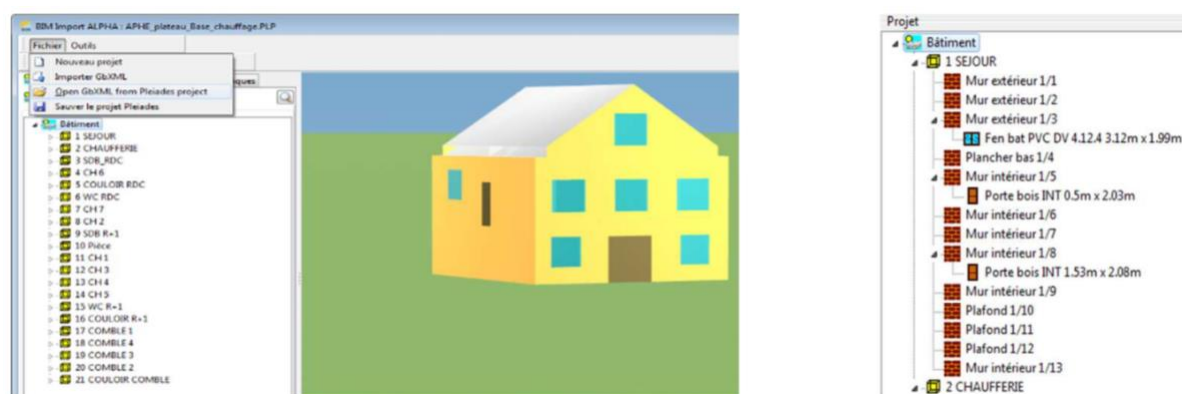


Figure 7-5 - Exemple d'exportation/importation gbXML

Différentes informations ont dû être alors renseignées sur le logiciel :

- définition des compositions des parois (murs, plancher, toiture) conformément à ce qui avait été relevé lors de l'audit ;
- renseignement des types de menuiseries (menuiseries bois avec simple vitrage pour les fenêtres, et menuiseries en PVC (intérieur) et alu (extérieur) avec double vitrage pour les portes fenêtres ;
- établissement des scénarios d'occupation et de consigne de température des chalets, conformément à ce qui avait été envoyé par Mathieu dans le questionnaire des usages ;
- établissement du scénario de ventilation. Pour cela, nous avons considéré un débit correspondant à la somme des débits de chaque ouverture sur fenêtre conformément à ce qui avait été mesuré lors de l'audit ;
- renseignement des émetteurs chaleur (radiateurs électriques de 2kW), des émetteurs ECS et ballons d'eau chaude.

Toutes ces informations ont été obtenues suite à un audit énergétique du site. Une fois ces informations renseignées dans le logiciel, des simulations annuelles ont été effectuées. Les résultats obtenus ont été analysés pour identifier les points sur lesquels une amélioration est possible.

4. Conclusion

L'atelier projet a permis aux étudiants d'utiliser plusieurs logiciels interopérables pour réaliser l'étude dans une démarche de type BIM. Ils ont appris à travailler/collaborer à 19 à l'aide d'une démarche collaborative sur les maquettes numériques, en utilisant des outils de gestion de projet pour synchroniser leur travail. Ce projet leur a permis d'affiner leur maîtrise des logiciels de modélisation numérique et thermique ainsi que d'appréhender les forces mais aussi les faiblesses du BIM.

Intégration du BIM dans le parcours de formation Licence-Master Génie Civil de l'Université de Nantes

Pascal Rougeron⁽¹⁾ – Yann Gilbert⁽¹⁾ – Anne Sophie Enée⁽²⁾ – Romain Clerc⁽¹⁾

⁽¹⁾ *Faculté des sciences et techniques de l'université de Nantes*

⁽²⁾ *Polytech' Nantes – Département Génie Civil*

Résumé

Il y a quatre ans une réflexion sur l'intégration du BIM a débuté dans la filière Génie Civil de la faculté des Sciences de l'Université de Nantes. Ce projet a été validé par le conseil de perfectionnement. Il s'articule autour de trois phases : apprentissage de REVIT en L2, initiation à la conception collaborative et aux usages de la maquette en L3 (calcul de structure, métré/chiffrage, réalité virtuelle), et mise en situation professionnelle simulée en M1 et M2. A chacune de ces phases est associée une stratégie pédagogique spécifique (pédagogie « descendante » en L2, pédagogie de type « approche projet » en L3, mise en situation professionnelle simulée en M1 et M2). L'objectif est de faire du BIM le fil rouge de cette formation professionnalisante au public hétérogène et aux projets professionnels des étudiants très divers (de l'étude technique à la conduite de travaux en passant par la maîtrise d'œuvre).

1. Contexte de la formation

Le cadre général du retour d'expérience proposé ici concerne un cycle de formation Licence et Master au sein de l'UFR sciences et techniques de l'Université de Nantes. La licence SPI (sciences pour l'ingénieur) d'abord, généraliste, avec un parcours Génie Civil qui se dessine à partir de la L2, accueille en L3 un flux d'environ 50 étudiants dont plus de la moitié sont issus de la validation des acquis, après l'obtention d'un BTS ou d'un DUT. Le Master ensuite, alimenté à plus de 70% par la licence, comporte deux parcours de formation, CRB (conception et réalisation des bâtiments) et TP2M (travaux publics maritimes et maintenance), et s'articule autour d'un tronc commun. Le flux est d'environ 60 étudiants.

La formation est assurée sur le site délocalisé de Saint Nazaire, sauf la L2 qui est maintenue à Nantes dans le portail de la licence SPI. Le choix de Saint Nazaire résulte du fonctionnement global de la filière Génie Civil de l'Université de Nantes, qui regroupe l'IUT de Saint Nazaire, le département de Génie Civil de PolytechNantes, et notre équipe de l'UFR sciences. Cette proximité voulue permet une mutualisation de nombreux moyens expérimentaux et informatiques, et facilite les échanges entre collègues sur les pratiques pédagogiques. Enfin, nous disposons sur le bassin nazairien du Technocampus Smart Factory avec son centre industriel de réalité virtuelle, spécialisé dans la digitalisation de l'industrie ; centre avec lequel nous entretenons une collaboration régulière.

L'enseignement autour du BIM est décliné de la L2 au M2, soit sur 4 années de formation pour un étudiant qui suit la filière dans son intégralité. On peut déjà noter une hétérogénéité des publics à chaque niveau, liée au parcours initiaux de formations, en particulier pour les entrées en cours de cycle (L3 et M1) : les prérequis en compétences scientifiques (maths, informatique) et en usage des outils numériques sont très variés. Aussi, le Master de Génie Civil, à vocation professionnelle, fait appel à de nombreux vacataires dans les enseignements dispensés et offre aux étudiants des cycles importants de formation en entreprise, par les stages et l'alternance en Master 2. On s'appuie donc sur une équipe pédagogique diversifiée et inégale en usage des outils numériques, et des projets professionnels d'étudiants dans un large spectre autour de l'acte de construire. Les besoins de formation sur les questions du numérique peuvent être très différents selon les positionnements métiers, en particulier en ce qui concerne le BIM.

2. Le BIM comme fil rouge de formation du L2 au M2

La mise en place du contrat quinquennal 2017-2022 et des maquettes pédagogiques associées a mis en évidence le besoin de structurer et d'établir des perspectives sur le BIM. Besoins de la profession, demande des étudiants, évolution majeure perçue par les enseignants... Le tout à partir d'une feuille quasiment vierge.

Nous avons donc réfléchi à une approche globale, et établi un cadre général assez souple pour qu'il reste évolutif au cours de la mise en place des pratiques. D'emblée, nous avons perçu que l'enjeu de formation pour de futurs cadres en ingénierie et production ne se situait pas au niveau de la modélisation ni de la construction de la maquette, mais bien sur les usages et les paradigmes de l'acte de construire apportés par le BIM.

Nous retrouvons donc des modules autour de l'usage du BIM chaque année de la L2 au M2. L'ambition est aussi qu'après une prise en main ciblée et cadrée en L2 et L3, les étudiants s'approprient la démarche et systématisent leur approche "maquette" de façon autonome dans les projets de Master.

Nous avons donc mis en place les modules suivants, aux différents niveaux de formation :

- En L2, un module est consacré à la découverte du BIM et à la modélisation. Il s'agit pour les étudiants d'être capable de concevoir la maquette numérique d'un projet de bâtiment suivant la philosophie BIM, et d'exposer les principaux enjeux du BIM dans le Bâtiment. Cela passe par trois étapes : (i) la prise en main guidée d'un logiciel dédié pour la création d'une maquette numérique à partir de plans architecturaux; (ii) l'utilisation de la maquette BIM en autonomie pour proposer une rénovation architecturale de ce bâtiment – les étudiants développent un projet de rénovation par groupes et exploitent ensuite des outils « BIM » (chiffrage, phasage, étude d'ensoleillement) pour produire un dossier de rénovation ; (iii) la rédaction d'un rapport de synthèse pour prendre du recul sur le travail de modélisation effectué et le resituer dans la réalisation d'un projet BIM.
- En L3, un projet transversal permet très vite d'orienter le travail autour des usages de la maquette, avec plusieurs objectifs : l'interopérabilité d'abord, avec des exploitations produites en calcul de structures, en quantitatifs et méthodes, en modelage pour la réalité virtuelle. La maquette est ici exploitée comme une base de données riche et multiple et on s'appuie sur différents formats d'échanges dont l'IFC (Industry Foundation Classes). Ensuite, le projet est réalisé en mode collaboratif, avec une maquette centrale partagée sur le réseau par les étudiants d'un même groupe. Toujours en L3, les cours de Rdm et de BA sont l'occasion de travailler sur les modèles structuraux et le calcul numérique pour la conception et le dimensionnement des ouvrages. Dans ces deux modules, la plupart des activités confrontent le calcul manuel au modèle numérique, aussi bien en TD, en TP qu'en projet.
- En Master 1, un projet d'étude technique se concentre plus particulièrement sur l'usage de la maquette pour l'analyse mécanique structurelle. L'accent est mis sur le modèle analytique, son transfert vers un logiciel de calcul de structures, et son exploitation. Les compétences attendues concernent la modélisation spatiale, la conception (stabilité, descente de charges), le calcul réglementaire (multi matériaux), et enfin la validation des résultats par des auto-contrôles et des calculs manuels.
- En Master 2 pour finir, le projet d'étude de prix va progressivement s'appuyer sur l'exploitation d'une maquette pour les métrés, la préparation de chantier, les plannings (4D et 5D) et in fine le chiffrage.

Ce fil rouge reste incomplet puisque la dimension équipements techniques (chauffage, ventilation, climatisation) n'est pour le moment pas abordée. Le master 2 parcours CRB comporte un projet d'études techniques Chauffage / climatisation qui pourrait à l'avenir être le support de ce champ d'applications.

3. Choix des logiciels

Le choix des outils retenus et en particulier le choix du modèleur BIM a été guidé par les résultats d'une enquête menée auprès des bureaux d'études de la région nantaise il y a 5 ans. Ce choix a été évidemment conforté par la stratégie commerciale de l'éditeur Autodesk, et a été également fait par l'ensemble des enseignants de la filière GC de l'université de Nantes, après concertation et formation de l'équipe pédagogique. Nous utilisons donc REVIT, ROBOT et Naviswork. Le choix de l'outil de réalité virtuelle a été dicté par la proximité géographique avec le centre de réalité virtuelle du technocampus situé à quelques kilomètres de Saint Nazaire. Nous utilisons Unity pour le transfert de fichier et une application développée par le technocampus pour le transfert vers le logiciel de réalité virtuelle associé à notre casque HTC Vive. Pour la liseuse IFC, nous avons retenu Bim vision arbitrairement.

4. Stratégies pédagogiques

L'objectif initial qui nous a permis de bâtir notre projet de formation a été de mettre en place des scénarios de formation qui initient des dynamiques de projet de groupes. Notre objectif est de faire comprendre aux étudiants que le BIM est une démarche et pas seulement l'usage d'outils numériques.

Comme précisé, le projet de formation comporte 3 phases. Pour chacune d'entre elle, la stratégie de formation est spécifique.

4.1 Phase 1 : appropriation de l'usage du modèleur 3D :

La première phase est une phase de prise en main guidée pas à pas de REVIT, constituée d'un module de formation de L2. L'objectif est de découvrir l'utilisation d'un modèleur volumique, de faire le lien entre représentation plane et représentation spatiale et de percevoir l'intérêt du processus BIM notamment dans la gestion du cycle de vie d'un bâtiment. L'approche pédagogique est de type « descendante » sur la base d'un exemple très détaillé que les étudiants doivent suivre pas à pas. L'enseignant donne le rythme des acquisitions et les séances sont programmées avec un avancement « frontal » semblable pour tous les étudiants. Cette approche est rendue possible parce que les étudiants découvrent le logiciel et le niveau est donc très homogène. Cette stratégie permet dans un premier temps, de permettre à tous les étudiants d'acquérir un niveau de compétence leur permettant d'être autonome. Rapidement, les étudiants peuvent aller chercher des informations complémentaires sur Internet, les comprendre et peuvent ainsi se les approprier. Cette capacité « autoformation » et d'auto appropriation des informations disponibles sur Internet sera exploitée dans la deuxième phase du projet de formation.

1.1.1 Première partie : Modélisation individuelle guidée

Dans un premier temps, et après un cours sur le processus BIM et ses enjeux, les étudiants sont initiés à la conception de maquette numérique avec REVIT par modélisation complète – des fondations aux finitions – d'une villa. Celle-ci est dérivée d'un support pédagogique produit par E. Holtz (Figure 8-1). Le dossier support, traditionnel, est constitué de plans (élévations, coupes, plans d'architecte, plans de structure) que les étudiants apprennent à lire par « autoformation », et ce au fur et à mesure de la modélisation. En effet, celle-ci est guidée par un tutoriel « papier » – doublé par des vidéos accessibles en ligne – qui se veut de moins en moins détaillé au fil de l'avancement. Par ailleurs, puisque la L2 est le point d'entrée de nos étudiants dans le Génie Civil, ce travail, couplé à la rédaction du rapport de synthèse (troisième partie) leur permet également de fixer la terminologie du bâtiment et d'appréhender les modes de réalisations des différents éléments.



Figure 8-1 – source du bâtiment support (E. Holtz) : http://eduscol.education.fr/sti/ressources_pedagogiques/bim-formation-revit-2016-0#description

A l'issue de cette activité, les étudiants sont invités à modéliser en totale autonomie l'annexe de la villa (à droite sur la Figure 8-1) à partir du dossier de plans fourni. Ce travail permet d'évaluer leurs compétences de modélisation et de communication sur REVIT.

Il ressort de cette première partie une attitude volontaire des étudiants vis-à-vis de la réalisation en 3D, qui leur permet en grande majorité d'acquérir non seulement la maîtrise des outils de conceptions de base sur Revit, mais aussi les compétences de base en lecture de plan et en terminologie de la construction.

1.1.2 Deuxième partie : Rénovation individuelle en autonomie

Après s'être initié à l'utilisation de REVIT, les étudiants sont invités à proposer un projet de rénovation bioclimatique de l'annexe de la villa (Figure 8-2) – par groupe de 4 à 5 – et à insérer individuellement et en autonomie ce projet dans la maquette numérique. C'est lors de ce travail que l'intérêt du BIM commence à transparaître, puisque l'utilisation des phases et des variantes, couplée l'étude d'ensoleillement et au chiffrage implémentés dans REVIT permet aux étudiants d'élaborer, d'implémenter et de communiquer leur projet, tout en l'inscrivant dans le cycle de vie du bâtiment. Par ailleurs, puisque nos étudiants découvrent le Génie Civil, cette partie est l'occasion de soulever des problématiques désormais incontournables telles que l'impact environnemental des constructions.

Ce travail permet d'évaluer les compétences de modélisation acquises ainsi que la capacité d'appropriation de nouveaux outils en temps limité et de communication de projet.

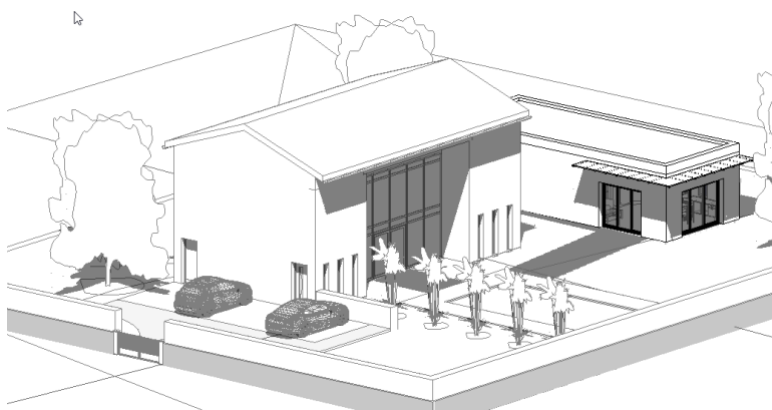


Figure 8-2 - bâtiment support après rénovation

1.1.3 Travail annexe : rapport de synthèse

Au cours du module, les étudiants rédigent – par groupes de 4 ou 5 – un rapport comportant un chapitre sur le BIM et ses enjeux actuels – qu'ils alimentent de leur expérience en classe et d'interview(s) de professionnel(s) – ainsi qu'un chapitre sur la réalisation in situ du bâtiment modélisé. Nous les amenons ainsi à se questionner sur les différents corps d'états intervenant dans la réalisation d'un bâtiment et sur leur coordination, que le BIM entend faciliter. Par ailleurs, ce rapport est également un prétexte à l'« autoformation » des étudiants sur les méthodes de constructions d'ouvrages classiques, pour développer leur culture Génie Civil.

Il est important de rappeler que ce travail sur la culture Génie Civil – annexe à l'utilisation de Revit – n'est pas anecdotique dans cette Phase 1 puisque, dès l'entrée en L3, les étudiants de L2 seront rejoints par des étudiants d'IUT et de BTS.

4.2 Phase 2 : Mise en place de la gestion de projet BIM :

La deuxième phase, à destination des étudiants de L3 (groupe important et très hétérogène), a pour but de mettre en place une démarche structurée de projet sur le thème de la modélisation numérique.

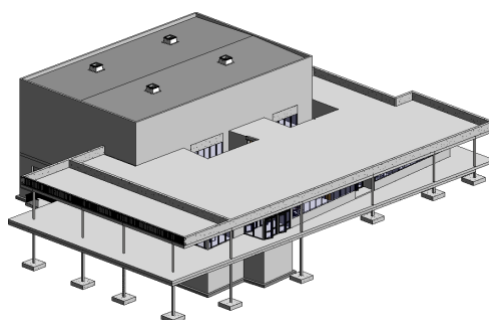


Figure 8-3 – Exemple de projet L3

Les étudiants de L3 sont d'origine diverses avec un niveau de maîtrise de l'utilisation de REVIT très hétérogène. Cette partie de formation comporte deux parties : la première est consacrée à la modélisation collaborative, et la deuxième est dédiée à l'usage de la maquette (calcul structure, métré, réalité virtuelle, liseuse IFC).

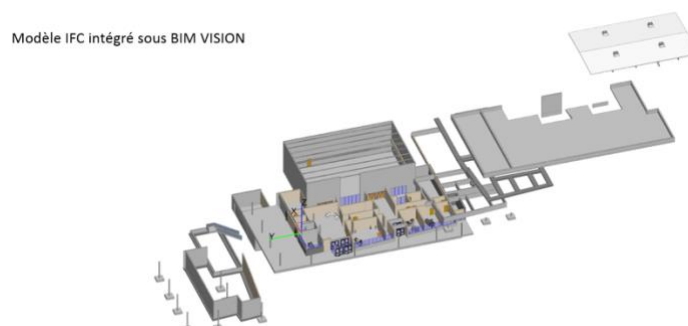


Figure 8-4 – Exemple d'utilisation de la liseuse IFC

L'approche pédagogique est sur cette phase de type « approche projet ». Ce choix de stratégie pédagogique se caractérise par la mise en place d'un jeu de rôle. L'objectif est que les étudiants commencent à associer l'utilisation du modèleur volumique et de la démarche projet (démarche BIM).

Notre exigence est la mise en place d'une structuration des groupes dans laquelle chaque étudiant a une fonction particulière (figure 4) : un chef de projet, responsable de la planification des étapes de travail et interlocuteur unique de l'enseignant, un référent REVIT, seul étudiant à assister aux séances de cours consacrés à l'utilisation de REVIT, un BIM manager, responsable de la coordination lors des phases de travail collaboratif et du stockage/transfert/usage de la maquette.



Figure 8-5 – Principe de structuration des groupes projet

Cette distribution des rôles permet de créer une dynamique d'équipe vraiment intéressante. Chaque étudiant a sa part de responsabilité dans la réussite, ou l'échec d'ailleurs, du projet. Sur les phases de formation REVIT, l'obligation de restitution des indications de l'enseignant vers les collègues du groupe induit une écoute et une curiosité de qualité de l'étudiant référent REVIT. Cet étudiant complète d'ailleurs, très fréquemment, les indications de l'enseignant par des informations trouvées sur Internet ou dans des ouvrages. Cet effet « autoformation » est pour nous essentiel pour aller vers l'autonomie dans l'usage des outils numériques proposés.

1.1.4 Première partie : Modélisation collaborative :

Dans la première partie, consacrée à la modélisation collaborative, chaque étudiant est responsable d'un "lot technique" ou d'une zone de l'ouvrage (figure 5).

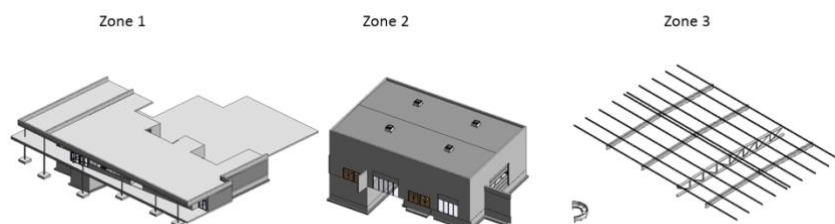


Figure 8-6 – Exemple de décomposition de l'ouvrage pour le travail collaboratif

Chaque groupe modélise la structure à partir d'un DCE en dwg (Figure 8-7).

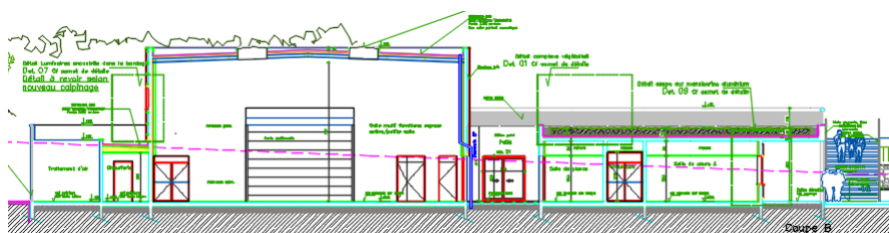


Figure 8-7 – Exemple d'information fournie aux étudiants (extrait DCE au format dwg)

Cette partie met en évidence les difficultés du travail collaboratif (organisation de l'avancement, gestion des droits ...) mais également les intérêts de ce type d'approche (gain de temps pour la modélisation d'un projet complexe). L'avancement du projet est géré par le chef de projet, tandis que le BIM manager s'assure de la bonne mise en place et du respect de la procédure de travail collaboratif (Figure 8-8).

Présentation de la démarche de travail collaboratif ...

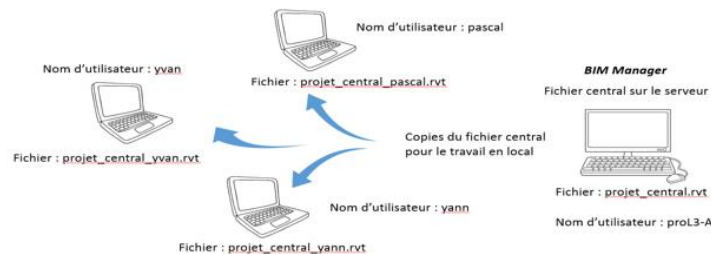


Figure 8-8 – Logique de travail collaboratif

Un des effets induits par la structuration des groupes « projet » est la possibilité de réduire la taille du groupe lors des phases de "cours" REVIT. En effet, seul l'étudiant référent REVIT est présent et il a la charge de transmettre à ses collègues les informations transmises par l'enseignant.

1.1.5 Deuxième partie : usages de la maquette numérique :

La deuxième partie est consacrée à l'utilisation de la maquette autour de trois axes, le calcul de structure (descente de charge Figure 8-9), le métré (définition des volumes de béton, poids d'acier Figure 8-10), la réalité virtuelle (visite technique faite par l'étudiant pour décrire la conception structure Figure 8-11, Figure 8-12, Figure 8-13 et Figure 8-14).

Description projet

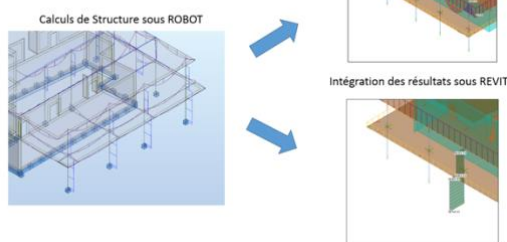


Figure 8-9 – Exemple d'utilisation du modèle analytique



Figure 8-10 – Exemple d'intégration sous Naviswork pour analyse des métrés et visualisation du phasage global de chantier

Cette partie met en évidence deux points singuliers. Le premier révèle que la modélisation initiale en général ne permet pas un transfert immédiat vers les applications tierces mais nécessite des adaptations en fonction des besoins (modèle analytique, définition des éléments en fonction des informations exploitées pour le métré).

Le deuxième concerne la mise en place et l'usage de la réalité virtuelle. Le logiciel UNITY nous semblait au départ compliqué d'utilisation mais les étudiants se le sont appropriés très facilement grâce entre autre, aux nombreux tutoriels accessibles sur le WEB. Une nouvelle fois, cette phase d'autoformation a été très fructueuse. Enfin la visite technique finale de l'étudiant à travers sa maquette pour expliquer aux

enseignants la logique de conception structurelle a révélé une appropriation surprenante de l'ouvrage étudié. Cette visite a permis aux étudiants de visualiser les défauts de la maquette numérique de façon infiniment plus simple grâce à l'immersion dans le modèle virtuel.

Modèle REVIT intégré sous
Unity pour la visite en Réalité
Virtuelle



Figure 8-11 – Illustration de l'intégration du modèle Revit sur Unity 3D

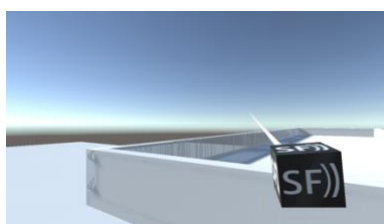


Figure 8-12 - illustration de la visualisation des armatures et exemple de détection de défaut pendant la visite virtuelle



Figure 8-13 – visite intérieure de la salle de spectacle qui permet de mieux comprendre la conception de la structure



Figure 8-14 – visite extérieure de l'ouvrage qui permet de mieux comprendre l'architecture globale du projet

4.3 Phase 3 : Mise en situation professionnelle simulée des usages de la maquette

La troisième phase est mise en place en M1 et M2. Elle s'appuie sur les deux phases précédentes et a pour objectif de mettre les étudiants en situation professionnelles simulées. Pour le moment, seuls deux aspects sont explorés, le calcul de structure et le chiffrage des ouvrages. Les stratégies d'enseignement sont différentes. Le principe est de confronter l'analyse conduite manuellement et les résultats numériques obtenus à partir de la maquette numérique. L'objectif n'est plus la modélisation de l'ouvrage mais uniquement l'exploitation qui est faite des usages possibles de la maquette numérique. Ces projets sont conduits conjointement par un professionnel du secteur en activité et un enseignant.



Figure 8-15 – Exemple de projet traité en M1

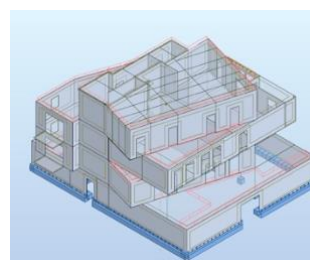


Figure 8-16 Exemple d'exploitation avec Robot en M1

Le professionnel du secteur pilote les étudiants sur l'analyse "traditionnelle" du projet, et l'enseignant guide les étudiants qui modélisent et exploitent le modèle. A nouveau, une approche projet est mise en place de telle sorte à ce que les étudiants participent à la fois à l'analyse manuelle mais aussi à l'analyse de résultats numériques. Plusieurs revues de projet sont organisées au cours du module et chaque étudiant doit expliquer l'état d'avancement de la partie sur laquelle il n'a pas travaillé.

Les effets observés sont intéressants. La maquette permet une visualisation spatiale qui aide grandement les étudiants à la compréhension de la logique de transfert de charge pour l'analyse de la descente des charges et l'identification des zones à problème. La confrontation des résultats obtenus manuellement et de ceux calculés a entraîné des discussions scientifiques et techniques concernant le calage du modèle numérique, que seule cette analyse spatiale peut permettre.

Pour le moment, cette stratégie fonctionne très bien sur un module de calcul de structure, mais est plus difficile à mettre en place sur le module consacré au métré/chiffrage. Cette année, pour la première fois, la maquette numérique a été intégrée au module Étude de prix / Méthodes. Les étudiants travaillent sur un Dossier de Consultation des Entreprises (DCE) qu'ils ont choisi en accord avec les enseignants. L'objectif de ce module est d'aboutir au prix de vente du lot gros œuvre de l'ouvrage et de préparer le chantier (planning, plan d'installation de chantier et rotation de matériel).

La maquette dessinée par les étudiants doit leur permettre d'accéder aux quantités (dimensions, surfaces de coffrage, volumes, masse d'acier...) concernant les éléments de structure : fondations, voiles, poutres, poteaux, planchers.

Les difficultés rencontrées sont liées à la définition du modèle initial : jonction entre les différents éléments, volumes de béton incohérents avec les dimensions récupérées, distinction entre les voiles intérieurs ou de façade, etc... D'où des écarts parfois important entre quantitatifs manuels et numériques.



Figure 8-17 – Exemple de type de jonction entre voiles

<05 - Plancher haut Rdc>						
A	B	C	D	E	F	G
Type	Matériau structurel	Nombre	Niveau	Epaisseur du porte	Surface	Volume
R+1						
BA C25/30 e=20cm	C25/30	2	R+1	20	250.09 m ²	50.02 m ³
BA C25/30 e=23cm	C25/30	1	R+1	23	58.68 m ²	13.50 m ³
BA C25/30 e=25cm	C25/30	2	R+1	25	639.75 m ²	159.94 m ³
Total général: 5					948.52 m ²	223.45 m ³

Figure 8-18 – Exemple de nomenclature de plancher

Obtenir des quantitatifs fiables nécessite d'abord une bonne compréhension du processus d'étude de prix / méthodes, une bonne connaissance des différents types d'informations que l'on souhaite récupérer et de la rigueur lors de la modélisation.

Ainsi une bonne réflexion préalable à la modélisation (par exemple la réalisation d'un métré manuel sur une petite partie de l'ouvrage) ainsi que l'établissement d'une sorte de « guide des bonnes pratiques en vue du métré opérationnel » permettront d'obtenir des résultats fiables.

A l'avenir, on peut imaginer l'utilisation de la maquette pour la planification 4D, la rotation de matériel...

5. Conclusions

La mise en place du projet de formation cohérent intégrant le BIM est difficile. Il nécessite de modifier des habitudes. En particulier, les découpages horaires de formation n'intègrent pas le temps nécessaire à la modélisation ou à l'usage des outils numériques associés à la maquette. Les emplois du temps des étudiants sont trop chargés pour qu'ils puissent y consacrer le temps nécessaire en dehors des heures d'enseignement. De plus, l'accès aux matériels informatiques en dehors des heures d'enseignement n'est pas toujours facile. Et les équipements personnels des étudiants ne sont pas nécessairement suffisamment performants pour être utilisés. Enfin, nos formations font appel à de nombreux vacataires qui ne possèdent pas forcément les compétences (ou la volonté) pour intégrer dans leurs enseignements l'usage de la maquette et du BIM en général. Plus généralement, le coût global (investissement humain et financier) nécessaire à l'intégration du BIM dans une formation existante est énorme et est un frein considérable même si tous les acteurs de la formation s'accordent à penser que l'intégration du BIM est indispensable.

En revanche, nous avons noté des effets induits qui nous incitent à continuer dans cette voie. L'utilisation des outils numériques rendent plus attrayantes les études techniques. De plus en plus d'étudiants choisissent cette voie professionnelle. De surcroît, le modèle numérique est vraiment une aide à la compréhension des problèmes technologiques et permet de s'affranchir des techniques lectures de plan, souvent mal maîtrisées. Il permet également de visualiser les détails d'interface sur lesquels l'attention n'était pas nécessairement posée lors d'une étude globale : le modèle numérique opérationnel, pour être exploitable, nécessite une description très détaillée des ouvrages.

Pour conclure, nous sommes confrontés aux mêmes difficultés que celles rencontrées dans les entreprises et qui sont liées à des changements d'habitude : prise en compte du temps de modélisation, développement des compétences pour l'usage du modèle numérique, investissement humain et financier nécessaire à une mise en place effective d'une démarche BIM, appropriation et adaptation des outils logiciels.

En ce qui nous concerne, nous avons le sentiment que le BIM peut être un fil rouge qui donne une cohérence supplémentaire au cycle de formation complet du L2 jusqu'au M2.

Mastère Spécialisé GP-BIM

A. TALON¹, G. BAUDOUIN¹

¹ UCA – Polytech Clermont-Ferrand

Résumé

Le Mastère Spécialisé GP-BIM, le BIM pour la gestion intégrée des constructions, est une formation qui vise la montée en compétences des acteurs de la construction vis-à-vis du BIM et de la gestion technique du patrimoine : bâtiments, ouvrages d'art et infrastructures. Après avoir présenté la genèse de cette formation, cette présentation détaillera le format de la formation, son contenu et deux projets en cours de réalisation par les étudiants de cette promotion 2018-2019 : un projet pour l'apprentissage de l'aspect collaboratif et le projet BIM AuRA qui est une action sur le territoire de la région Auvergne Rhône Alpes qui vise à accompagner la montée en compétences des entreprises sur le BIM.

Mots clefs

Gestion technique, cours à distance, collaboratif, BIM AuRA

1. Genèse

Le coût d'exploitation et de maintenance d'un ouvrage est en moyenne de l'ordre de 75% de son coût global quand son coût de construction ne représente « que » 20% (selon le guide relatif à la prise en compte du coût global dans les marchés publics de maîtrise d'œuvre et de travaux – 2010). Les gestionnaires d'ouvrages (infrastructures, ouvrages d'art, bâtiments) ont donc besoin de pouvoir optimiser leur politique de maintenance et de renouvellement de leur parc. Pour cela, il est nécessaire de pouvoir connaître l'état de son patrimoine, d'évaluer les solutions d'amélioration ou de ré-orientation possibles des ouvrages au regard des nouveaux règlements ou des problématiques de développement durable et d'économie d'énergie. Enfin, il faut être capable d'anticiper une gestion intégrée et intelligente de son exploitation et de sa maintenance.

D'autre part, les modèles et outils numériques montent en puissance dans les pratiques professionnelles au sein des métiers du bâtiment et des travaux publics. Le BIM (Building Information Model /Modeling /Management) s'impose de plus en plus et permet à toutes les phases d'un projet de construction d'améliorer les pratiques, d'optimiser les solutions techniques, de permettre plus d'interopérabilité entre les différents acteurs et des gains de qualité. Il ouvre également des perspectives en termes de suivi et de maintenance des ouvrages. Il est donc crucial que les professionnels montent en compétence, tant au niveau de la prise en main des outils numériques BIM qu'au niveau des nouvelles pratiques collaboratives qui sont associées.

Pour monter cette formation de Mastère Spécialisé, des réunions régulières ont été organisées à partir de 2015 avec l'ensemble des partenaires et des représentants de la profession (Architecte, Région, Cinov, FFB, rectorat, Ecole d'architecture, Médiaconstruct-smart building, CSTB, Astusconstruction, Syntec,) afin de bien cerner les enjeux et les attentes des professionnels du secteur sur le domaine de la gestion patrimoniale intégrée. De nombreux échanges et rencontres ont eu lieu avec des organismes et des personnes réputées compétentes dans le domaine pour élaborer le projet et le critiquer. Le montage de cette formation a été retenue dans le cadre de l'appel à projet PACTE (Programme d'Action pour la qualité de la Construction et la Transition Énergétique) porté par le Plan de Transition Numérique du Bâtiment (décision du 01/12/16). Ce projet a été conçu en collaboration avec Groupement d'Intérêt Public du Rectorat de Clermont-Ferrand et l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Clermont-Ferrand.

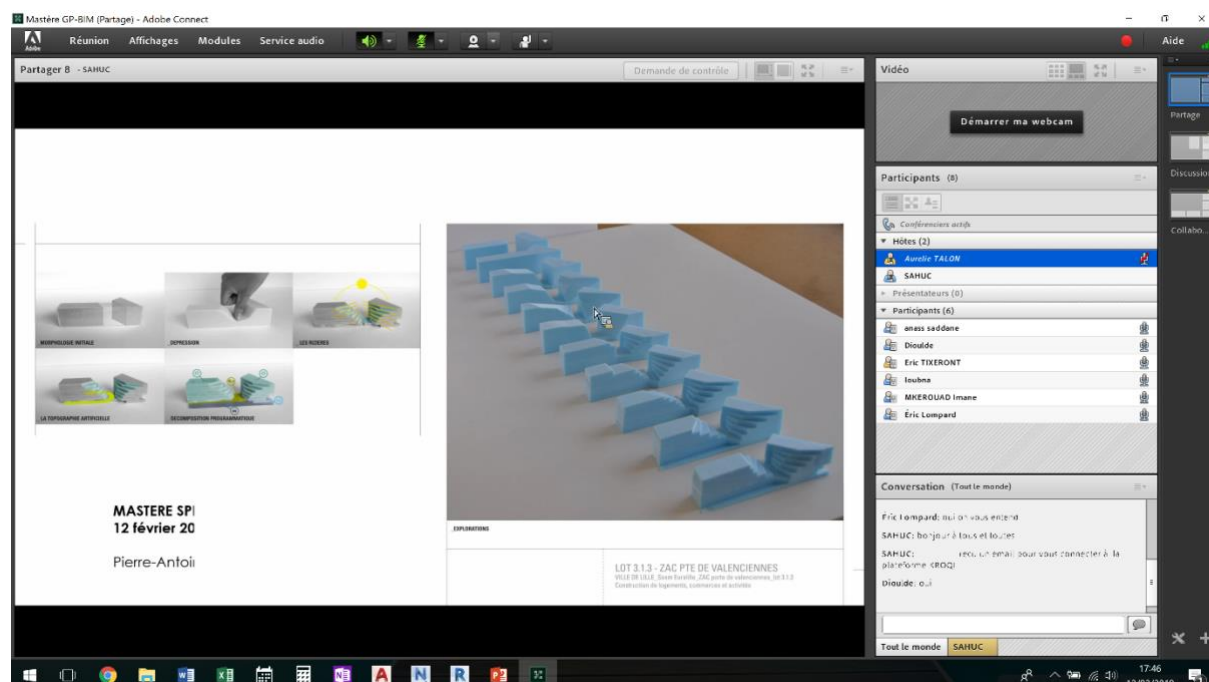
2. Format

Le mastère spécialisé® GP-BIM+ (Gestion patrimoniale par modélisation des données des constructions) s'adresse aux architectes, ingénieurs et gestionnaires d'ouvrages souhaitant monter en compétences dans le domaine du BIM (Building Information Model/Modeling/Managment) et acquérir les nouveaux concepts, les outils et les méthodes de gestion intégrée des ouvrages : infrastructures, ouvrages d'art et bâtiment.

Cette formation peut être suivie en formation initiale ou en formation continue. Le découpage en module de formation indépendant permet également, dans une optique non diplômante, de suivre en formation continue uniquement les modules souhaités.

Le rythme d'apprentissage est adapté aux apprenants en activité professionnelle, tel que le contrat de professionnalisation, puisqu'il combine (de septembre à mai) une semaine de formation à Clermont-Ferrand par mois et des cours à distance en fin de journée les trois semaines suivantes.

Ce format d'apprentissage avec des cours du soir en « classe virtuelle » via Adobe Connect facilite la disponibilité des apprenants et des intervenants extérieurs. La figure suivante présente une capture d'écran d'une classe virtuelle.



La partie centrale permet à l'intervenant de pouvoir afficher des contenus disponibles sur son propre écran d'ordinateur. Les échanges peuvent se faire à l'oral ou par écrit dans la partie « conversation » en bas à droite de la capture d'écran.

3. Contenu

Le MS GP-BIM s'articule autour de cinq modules, tels que présentés à la figure suivante :

- Le BIM pour l'évaluation des performances techniques : l'objectif est de maîtriser la démarche et connaître les techniques de diagnostic d'une construction existante afin d'en déduire une évaluation de sa performance actuelle et pouvoir prévoir son évolution au cours du temps. Cette évaluation intégrera les aspects structural, énergétique, acoustique, de confort intérieur / qualité de l'air, de sécurité incendie, de comportement aux sollicitations sismiques, d'accessibilité des personnes à mobilité réduite, juridiques et réglementaires. Les constructions intègrent les bâtiments, les ouvrages d'art et les infrastructures ;
- Le BIM pour prioriser la maintenance intégrée : il s'agit de connaître les solutions de maintenance et de réhabilitation existantes. Savoir les incidences techniques et économiques des solutions d'inspection, maintenance, réhabilitation (IMR) sur l'ensemble des enjeux des constructions (structural, énergétique, acoustique, confort intérieur / qualité de l'air, sécurité incendie, comportement sous sollicitations sismiques, accessibilité PMR). Savoir prioriser les interventions et définir une stratégie d'inspection, maintenance et réhabilitation ;
- Le BIM en phase de conception et de réalisation de travaux : des travaux sont à réaliser, soit dans le cadre d'une construction neuve, soit dans le cadre de travaux de maintenance et réhabilitation définis à la suite d'une évaluation de la performance d'une construction (modules 1 et 2 de cette formation par exemple). L'objectif est de programmer, réaliser et suivre ces travaux ; se posent alors la question de la formulation des informations à transmettre aux différents acteurs de l'acte de construire, et de la formulation de la réponse attendue dans le

cadre d'un appel d'offre, du suivi des travaux. En termes de maquette numérique, il est alors nécessaire de savoir l'exploiter en termes de préparation et de planification, de savoir gérer l'interopérabilité et les différents niveaux d'une maquette numérique ;

- Le BIM en phase de gestion technique du patrimoine : ce module s'intéresse plus particulièrement à la gestion de l'exploitation d'un patrimoine à construire ou existant. Pour un patrimoine à construire, il s'agit de définir au mieux les informations qui seront demandées dans les documents d'appel d'offre pour le suivi futur du patrimoine. Nous nous intéresserons également aux tableaux de bord à mettre en œuvre pour le suivi de la performance de ce patrimoine. Pour un patrimoine existant se pose également la question de la récupération et du traitement des données de suivi existantes. Dans les deux cas, les problématiques du niveau de précision des maquettes numériques et du type de gestion (interne, externe, déléguée) les plus appropriées seront développées ;
- Synthèse par études de cas en BIM : ce module consiste à mettre en pratique les notions de gestion patrimoniale et de BIM acquises lors des 4 modules précédents sur une étude de cas choisie en accord avec les responsables du module, les attentes de l'apprenant et les préoccupations des maîtres d'ouvrage publics.

	Module 1 – 96 h Le BIM pour l'évaluation des performances techniques	Module 2 – 90 h Le BIM pour prioriser la maintenance intégrée	Module 3 – 52 h Le BIM en phase de conception et de réalisation de travaux	Module 4 – 52 h Le BIM en phase de gestion technique du patrimoine	Module 5 – 52 h Synthèse par études de cas en BIM
Gestion patrimoniale	Diagnostic Aspects structural, énergétique, confort intérieur, qualité de l'air, sécurité incendie, sollicitations sismiques, accessibilité Aspects juridiques et réglementaires	Solutions avec techniques, mise en œuvre, coût, délai, incidences Priorisation des solutions Stratégie de maintenance Aspects juridiques et réglementaires	Programmation, réalisation et suivi de travaux Appel d'offre pour travaux de réhabilitation Aspects juridiques et réglementaires	Différents types de maintenance Tableaux de bord de gestion Collecte et traitement de données de gestion Aspects juridiques et réglementaires	Mise en pratique
BIM	Consultation de maquette numérique Scan 3D	Création / modification de maquette Evaluation de la performance d'une maquette	Métrés, planning Inter opérabilité Niveau de précision	Logiciels métier de gestion patrimoniale Intégration de données de gestion dans une maquette numérique	Mise en pratique

Pour l'aspect BIM, cette formation intègre l'apprentissage et la mise en pratique de l'aspect collaboratif, la découverte et l'expérimentation des notions de chartes, de convention, de protocoles, la consultation de maquette numérique, la réalisation d'une maquette à partir d'un scan 3D, la prise en main de logiciels de création de maquette numérique, l'évaluation de la performance des ouvrages à l'aide de ces logiciels, la réalisation de métré, de planning, l'intégration de données de gestion dans une maquette numérique, la prise en main de logiciels de gestion de patrimoine, les notions d'IFC, de data dictionary, de niveau de détail, de coopération et d'interopérabilité.

Pour l'aspect gestion de patrimoine, cette formation développe le diagnostic d'un patrimoine existant (infrastructures, ouvrages d'art, bâtiments), la proposition de solutions techniques intégrées, les stratégies de maintenance, la programmation et le suivi de travaux, la collecte des données de gestion, la création de tableaux de bord de gestion.

Les aspects juridiques, réglementaires et de coopération entre les différents acteurs seront également vu sous l'angle du BIM et sous l'angle de la gestion de patrimoine.

La formation dispensée par des industriels et des académiques comprend des enseignements théoriques et des mises en pratique. Ce Mastère Spécialisé s'appuie sur des spécialistes du BIM, des approches collaboratives et des spécialistes métiers du diagnostic et de la gestion technique du patrimoine. L'intérêt consiste également à la présentation de différentes visions du BIM :

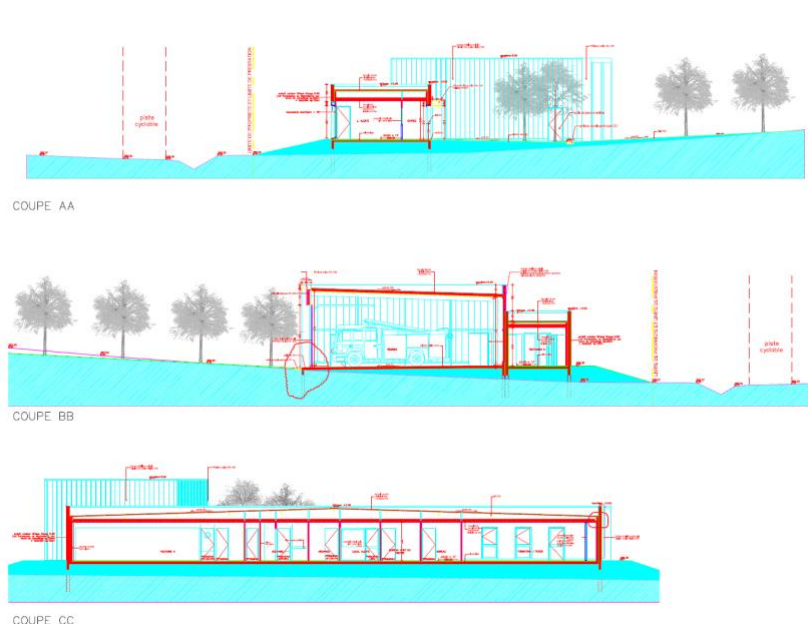
- Des architectes, des ingénieurs de bureau d'étude structure, de bureau méthodes, de bureau de contrôle, de lots de second œuvre, etc.
- Des grands groupes et des PME,
- Du domaine du bâtiment, des infrastructures et des ouvrages d'art.

4. Projet collaboratif

L'objectif de ce projet continu, en continuité de l'intervention de S. LECHAUVE sur le travail collaboratif, est d'expérimenter le travail collaboratif en s'intéressant :

- A la rédaction d'une charte BIM,
- A la rédaction d'une convention BIM,
- A la rédaction de protocoles BIM,
- Aux rôles de chaque intervenant (architecte, bureau d'étude structure, bureau d'étude fluide, économistes, bureau de contrôle, manager BIM, etc.) aux différentes phases d'un projet selon la loi MOP,
- Aux outils collaboratifs.

Le projet de construction support est la création d'un SDIS (Service Départemental d'Intervention et de Secours) qui est volontairement très simple pour que le temps de création et de modélisation de la maquette numérique soit restreint. Des coupes de ce bâtiment sont présentées à la figure suivante.

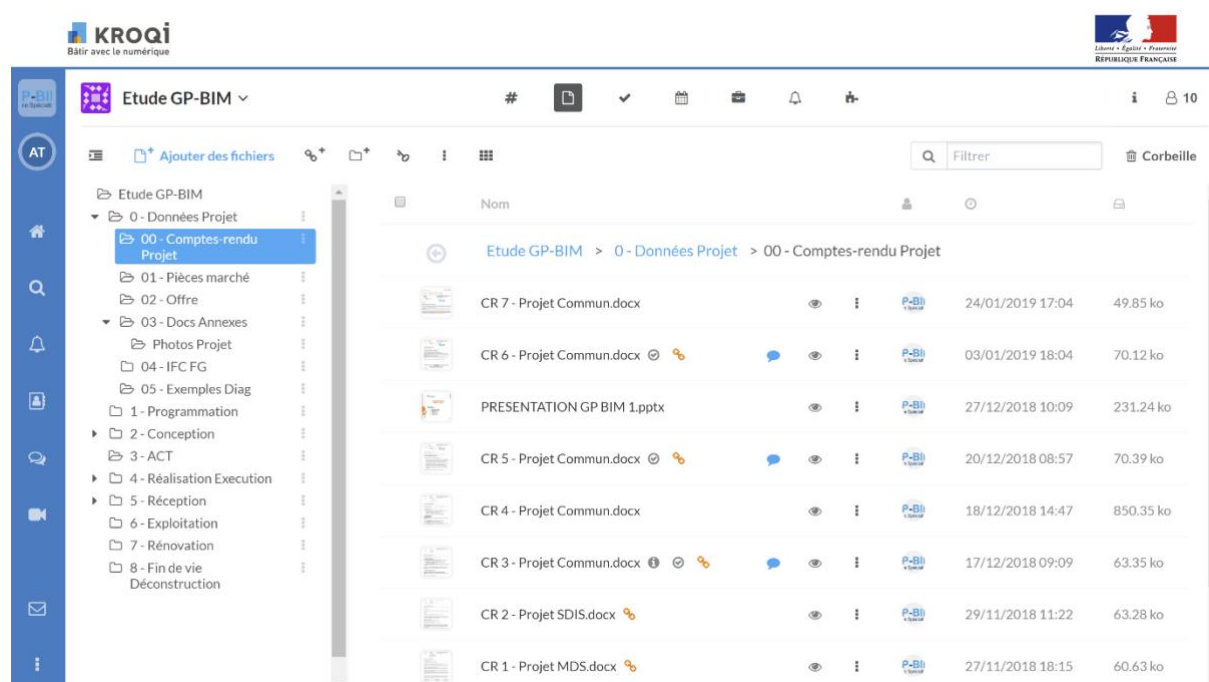


La rédaction des documents contractuels de charte, convention et protocole s'est basée sur une étude bibliographique.

Après une analyse comparative des outils de collaboration, les étudiants ont sélectionné la plateforme Kroqi pour :

- Déposer les documents,
- Affecter les rôles et des tâches,
- Gérer le planning d'avancement du projet.

Une copie d'écran de la structuration choisie pour l'échange de documents est présentée à la figure suivante.



Cette expérimentation s'achèvera à la réalisation de la phase PRO (études de projet). L'intérêt essentiel étant l'analyse des besoins et des démarches de satisfaction de ces attentes pour l'ensemble des acteurs impliqués dans ce projet.

5. Projet BIM AuRA

Le projet BIM AuRA est une action sur le territoire de la région Auvergne Rhône Alpes qui vise à accompagner la montée en compétences des entreprises sur le BIM, en mettant en relation des étudiants, des projets réels et des objectifs communs destinés à répondre concrètement aux problématiques BIM rencontrées. Ce projet fait l'objet d'une communication plus détaillée lors de ces journées EduBIM 2019.

Les étudiants du Mastère Spécialisé GP-BIM ont pour objectif de réaliser les deux premières fiches actions de ce projet. Ces fiches actions ont pour thème :

- La définition des besoins de chaque intervenant sur un chantier et sur ses attentes vis-à-vis des autres acteurs.
- Le travail collaboratif, méthodes et bonnes pratiques.

Une fiche action a pour objectif de répondre à des besoins et attentes identifiés. Elle regroupe :

- Des entreprises, des représentants, etc. : ceux qui expriment le besoin,
- Un ou des projets de construction supports permettant de s'appuyer sur des cas et problématiques concrets,
- Des étudiants qui apportent des solutions en s'appuyant sur les entreprises, les représentants, etc.,
- Le cabinet S!NCE qui apporte les outils méthodologiques et assure la coordination.

Concrètement, les étudiants vont interviewer les entreprises à l'aide de l'outil de la cartographie d'activité, version développée par le cabinet S!NCE, compléter ce travail par des recherches bibliographiques et des tests éventuels puis fournir plusieurs livrables :

- Un rapport entreprise synthétique qui présente les résultats de l'interview,
- Un retour d'expérience : qui extrait les résultats de l'interview entreprise au regard des attentes de la fiche action,
- Un rapport général de la fiche action qui agrège les résultats des retours d'expérience de toutes les entreprises interviewées pour cette fiche action.

6. Conclusion

Le Mastère Spécialisé GP-BIM a pour objectif la montée en compétences des acteurs de la construction vis-à-vis du BIM et de la gestion technique du patrimoine. Elle peut être suivie en formation initiale ou en formation continue. Le rythme d'apprentissage d'une semaine en présentiel et de trois semaines à distance par des cours du soir via des classes virtuelles permet la poursuite d'activités des apprenants et facilite la disponibilité des intervenants. La formation s'articule autour de cinq modules, des cours théoriques et de mises en pratique notamment via un projet continu permettant d'appréhender les aspects collaboratifs. Les étudiants du mastère sont également impliqués dans le projet BIM AuRA qui est une action sur le territoire de la région Auvergne Rhône Alpes qui vise à accompagner la montée en compétences des entreprises sur le BIM.

Session 3 – Outils pédagogiques

Outils et méthode pour la production collaborative de ressources pédagogiques pour l'enseignement du BIM

Bernard FERRIES¹

¹ *Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse*

83, Rue Aristide MAILLOL

BP 10629

31106 TOULOUSE Cedex 1

Résumé

Du fait du développement continu des pratiques BIM, les besoins de formation au BIM et à la maquette numérique sont massifs. Après une revue partielle de quelques enseignements dans ce domaine, nous décrivons le parcours des Ecoles Nationales Supérieures d'Architecture (ENSA) qui a conduit à la publication d'un référentiel en 2017. Il présente de nombreux points de correspondance avec le référentiel des activités et des compétences publié par le PTNB début 2019 auquel nous l'avons comparé.

Nous présentons ensuite Opale et Scenari, deux logiciels libres qui permettent la création de modules de formation et leur publication automatisée selon des supports variés. Nous illustrons les potentialités de ces outils et présentons un retour d'expérience. Cette analyse a mis en évidence une analogie éclairante entre la production de ressources pédagogiques avec ces outils et la production d'une maquette numérique par un architecte.

La dernière partie porte sur un projet en cours. Il a pour objectif la production collaborative de ressources pédagogiques pour l'enseignement du BIM et de la maquette numérique dans les ENSA.

Mots clefs

Appropriation, BIM, collaboration, maquette numérique, modularité, Opale, Pédagogie, Scenari

1. Introduction

1.1 Le contexte

La directive européenne 2014/24 du 26/2/2014 aurait permis de rendre le BIM obligatoire dans le cadre des marchés publics de travaux et les concours. Or c'est la voie de l'incitation qui a été retenue dans sa transcription française¹³ avec l'accompagnement du Plan Transition Numérique du Bâtiment sur la période 2015-2018.

En 2017, une cinquantaine d'acteurs de la filière bâtiment ont signé la charte "Objectif BIM 2022", engagement volontaire pour la construction numérique. Les pouvoirs publics soutiennent le mouvement sur la période 2019-2021 avec le plan BIM 2022¹⁴.

On constate par ailleurs une progression continue de la demande des maîtres d'ouvrages, en particulier dans les collectivités et chez les bailleurs sociaux. D'où un intérêt croissant pour le BIM chez les maîtres d'œuvre et les entreprises qui veulent être en mesure de participer à des opérations conduites selon une démarche BIM.

Selon la troisième enquête réalisée par Batiactu pour le PTNB (Batiactu 2018), 65% des 1 360 répondants estiment qu'ils n'ont pas une connaissance suffisante du BIM. On constate toutefois un progrès par rapport aux deux enquêtes précédentes et 55% des maîtres d'œuvre considèrent qu'ils ont une connaissance suffisante du BIM.

Plus de 500 formations sont disponibles début 2019 sur le site de recensement **de l'offre de formation au BIM et à la Maquette Numérique** (PTNB 2017). La publication récente d'un référentiel des activités et des compétences (PTNB 2019) aura certainement pour effet de structurer et d'élargir encore cette offre.

1.2 Etat des lieux des enseignements du BIM

Les lycées techniques ont une bonne longueur d'avance puisque l'enseignement du BIM a été introduit dès 2011. Des ressources pédagogiques sont mises à disposition des enseignants sur Eduscol¹⁵, le portail national d'informations et de ressources du Ministère de l'éducation nationale.

¹³ Décret n° 2018-1075 du 3 décembre 2018 portant partie réglementaire du code de la commande publique – Article R2132-10

¹⁴ http://www.cohesion-territoires.gouv.fr/IMG/pdf/2018.11.15_plan_bim_2022.pdf

¹⁵ <http://eduscol.education.fr/>



Figure 10-1. Exemple de ressource pédagogique BIM du portail Eduscol

Le Mastère Spécialisé « BIM, Conception intégrée et cycle de vie du bâtiment et des infrastructures » a débuté en 2014 et forme tous les ans près de 80 personnes (MS BIM 2019). D'autres Mastères Spécialisés ont été accrédités depuis dont le MS Management de Projets de Construction, option BIM et Maquette Numérique du CESI et le MS GP-BIM de l'Université Clermont-Ferrand.

Par définition, les MOOC¹⁶ sont une réponse aux besoins de formation massifs de la filière. Celui de l'UNTEC (**Prescrire et Estimer à l'heure du BIM**) en est à sa troisième session. La deuxième session du MOOC développé par l'entreprise GA et l'INSA de Toulouse est suivie par 3 000 personnes.

Nous terminons ce panorama bref et partiel par un focus sur les Ecoles Nationales Supérieures d'Architecture. L'enseignement du BIM y est essentiellement dispensé par des enseignants de la discipline STA/OMI¹⁷ et il est rarement mis en relation avec l'enseignement du projet.

Un premier séminaire a été organisé à l'initiative de l'ENSA de Toulouse le 30/1/2015. Il portait sur les outils informatiques et l'enseignement du BIM. Une école sur deux était représentée. Dans le relevé de décisions figurait déjà l'intention de mutualiser les efforts des enseignants (retours d'expériences, partage de supports de formation,...)

Dans le cadre de la Stratégie Nationale pour l'architecture mise en œuvre par le Ministère de la Culture et de la Communication (MCC 2015), la mesure 26 portait sur l'organisation des assises du BIM dans l'architecture en partenariat avec les Conseils régionaux de l'ordre des architectes ainsi qu'avec d'autres professionnels.

Ces assises se sont tenues successivement dans quatre Ecoles, à Paris Val de Seine (21-22/1/2016), Marseille (15-16/4/2016), Toulouse (6-7/9/2016) et Paris Malaquais (16/5/2017). A l'occasion des dernières assises, des ateliers ont permis de finaliser un « Référentiel de l'enseignement des processus de conception collaboratifs et numériques » qui a été diffusé par le Ministère à l'ensemble des ENSA

¹⁶ Massive Open Online Course

¹⁷ STA : Sciences et Techniques pour l'Architecture. OMI : Outils Mathématiques et Informatiques

(ENSA 2017). Un réseau de référents « Culture numérique » s'est également constitué avec un représentant par ENSA.

Nous avons croisé le référentiel des ENSA et le référentiel des activités et des compétences (PTNB 2019). Ce dernier détaille 20 activités en relation avec 43 compétences clés. Le tableau de la page suivante précise le nombre d'occurrences d'une compétence clé sur l'ensemble du référentiel. Ainsi, la compétence CC 5.8 « Réaliser des imports et des exports IFC » est impliquée dans 33 activités. Dans la partie droite du tableau, nous établissons les correspondances avec le référentiel des ENSA. Le total des occurrences pour lesquelles il y a un bon accord entre les deux référentiels s'élève à 412, soit 66% du total. Cette couverture est satisfaisante car il faut noter que le référentiel du PTNB a été établi pour les maîtres d'œuvre, les entreprises et les artisans et certaines compétences sont clairement réservées aux entreprises notamment dans le groupe CC6 (Comparer). D'autre part, le référentiel des ENSA contient quelques compétences supplémentaires comme « Appliquer les bases du droit du numérique au contexte de la maquette numérique » et il traite aussi de la culture numérique.

Les ENSA sont autonomes pour établir leur programme et le référentiel n'est assorti d'aucune obligation. Néanmoins il a déjà contribué dans certaines écoles à la mise en place de nouveaux enseignements préparant aux compétences et pratiques préconisées dans le référentiel.

1.3 Croisement du référentiel PTNB et du référentiel des ENSA

Récapitulation des compétences clés numériques mobilisées dans les activités du référentiel BIM et Maquette Numérique	Nb total occurrences	Référentiel des processus de conception collaboratifs et numériques en études d'architecture - Compétences attendues à l'issue de la formation
CC1.1 Connaître et comprendre un glossaire BIM (exemple: glossaire du PTNB - guide MIQCP)	13	
CC1.2 Connaître et comprendre un processus BIM	26	C Formaliser le travail collaboratif/Savoir expliciter des processus
CC1.3 Connaître les fonctionnalités générales d'une plateforme collaborative	9	C Connaître des environnements/platformes numériques favorisant le travail collaboratif
CC1.4 Connaître le principe de structuration des informations dans la base de données de la maquette numérique	20	C Pratiquer l'interopérabilité dans le travail collaboratif
CC1.5 Connaître les niveaux de détails géométriques et d'informations	17	
CC1.6 Connaître les formats d'échange et de l'interopérabilité	8	C Pratiquer l'interopérabilité dans le travail collaboratif
CC1.7 Connaître les codifications standard et leurs spécificités (omniclass, unformat II, masterclass, ...)	6	C Formaliser le travail collaboratif
CC1.8 Interpréter une charte/convention BIM	24	C Formaliser le travail collaboratif/Savoir analyser des chartes BIM
CC1.9 Définir son niveau de maturité BIM 2	11	
CC1.10 Collaborer, travailler en équipe dans le cadre du BIM	22	C Gérer et organiser le travail collaboratif
CC2.1 Visionner et manipuler une maquette numérique	24	B1 Exploiter, transmettre et communiquer le contenu d'un modèle numérique [...]
CC2.2 Visionner et manipuler une cinématique 4D	17	
CC2.3 Sélectionner la présentation des informations souhaitées (graphiques, données,...)	14	B1 Exploiter, transmettre et communiquer le contenu d'un modèle numérique [...]
CC2.4 Associer des annotations à la maquette	19	C Pratiquer l'interopérabilité dans le travail collaboratif
CC3.1 Evaluer la qualité de la structuration de la maquette	9	C Pratiquer l'interopérabilité dans le travail collaboratif
CC3.2 Evaluer la qualité de la structuration et des données d'un objet BIM	11	C Pratiquer l'interopérabilité dans le travail collaboratif
CC3.3 Etablir et exploiter un jeu de règles de contrôle	16	
CC4.1 Formuler une requête et en exploiter les éléments	40	A Capacité à exploiter et construire des bases de données et à coder
CC4.2 Exploiter les informations extraites de la maquette pour une intégration dans les actions métiers	32	B1 Produire une MN répondant à des spécifications de contenu [...]
CC4.3 Exploiter un planning 4D	23	
CC4.4 Exploiter les coûts associés aux objets (5D)	19	B1 Exploiter, transmettre et communiquer le contenu d'un modèle numérique [...]
CC4.5 Exploiter la maquette numérique avec les outils de simulation virtuelle (valorisation commerciale, vision chantier 3D,...)	16	
CC5.1 Initier la maquette	3	A Capacité à effectuer des modélisations
CC5.2 Récupérer des informations du bâti existant pour créer, modifier ou compléter une maquette numérique	5	A Capacité à relever et modéliser l'existant
CC5.3 Enrichir les données des objets de la maquette	31	
CC5.4 Intervenir en modification sur la maquette	17	A Capacité à effectuer des modélisations
CC5.5 Intervenir en création sur la maquette	2	A Capacité à effectuer des modélisations
CC5.6 Créer des objets BIM pour compléter une bibliothèque	7	A Capacité à effectuer des modélisations
CC5.7 Collecter des objets BIM	8	
CC5.8 Réaliser des imports et des exports IFC	33	C Pratiquer l'interopérabilité dans le travail collaboratif
CC5.9 Collecter les informations de l'environnement et les exploiter dans la maquette numérique	11	B2 Modéliser un environnement à partir de différentes sources de données géographiques
CC6.1 Agréger les éléments des maquettes à comparer	9	
CC6.2 Filtrer les éléments de comparaison	8	
CC6.3 Exploiter les incidences (traitement, rapport, réunion ...)	15	
CC6.4 Compiler plusieurs plannings 4D	11	
CC6.5 Détecter les conflits et collisions 4D	9	
CC6.6 Comparer le bâti construit avec la maquette numérique	4	
CC7.1 Structurer/organiser les niveaux d'accès-collaboration-contribution (droits d'accès)	2	C Connaître des environnements/platformes numériques favorisant le travail collaboratif
CC7.2 Définir les modalités de collaboration (protocoles d'échanges, nomenclature, arborescence des fichiers,...)	4	C Formaliser le travail collaboratif
CC7.3 Appliquer des modalités de collaboration (protocoles d'échanges, nomenclature, arborescence des fichiers,...)	6	C Formaliser le travail collaboratif
CC7.4 S'insérer dans un processus BIM	17	C Formaliser le travail collaboratif/Savoir expliciter des processus
CC7.5 Rédiger ou compléter une charte/convention BIM	6	C Formaliser le travail collaboratif/Etre capable de rédiger des conventions BIM
CC7.6 Utiliser les annotations numériques (par exemple les BCF) pour collaborer	16	C Pratiquer l'interopérabilité dans le travail collaboratif
	620	412

2. Des outils pour les enseignants

2.1 Opale et Scenari

Moodle¹⁸ est une plateforme d'apprentissage en ligne qui permet de « créer des communautés s'instruisant autour de contenus et d'activités » (Moodle 2019).

L'ENSA de Toulouse utilise Moodle depuis 2009 et il est devenu le principal support de la diffusion des supports pédagogiques. Dans leur grande majorité, ces supports sont produits avec des logiciels de la suite Libre Office.

Or il existe aussi des outils dédiés à la production de ressources pédagogiques. L'un des plus connus est Opale qui permet la gestion et la publication de contenus pédagogiques élaborés. Opale fait partie de Scenari, suite de solutions logicielles libres pour la création, la conception et la modélisation de documents¹⁹.

Le tableau ci-dessous compare les approches pédagogiques que l'on peut rencontrer dans un établissement :

Type	Critères distinctifs
Expositive	Utilise la technique de l'exposé
Démonstrative	- consiste très souvent à montrer (démonstration), puis faire faire (expérimentation) et faire dire (reformulation). - remarque : méthode souvent utilisée dans les TD ou l'étudiant acquiert un savoir-faire par simple imitation.
Interrogative	- l'enseignant questionne l'apprenant pour guider sa réflexion et l'amener à trouver des solutions. - c'est toujours l'enseignant ou le formateur qui conduit la réflexion
Active	- centrées sur l'apprenant, il est considéré être l'acteur principal de son apprentissage. - sa motivation, ses besoins, ses attentes sont prises en compte - l'enseignant propose des techniques pour lesquelles il est amené à produire, à créer, à chercher...

Tableau 10-1. Approches pédagogiques (Cailleau, 2010)

¹⁸ Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment

¹⁹ <https://scenari.org/co/home.html>

Opale est particulièrement adaptée à la réalisation de modules de formation expositifs.

La plupart des cours magistraux dans une Ecole d'Architecture pour la discipline STA sont de type expositif et peuvent donc être dispensés, en présentiel ou à distance, avec des modules développés avec Opale.

Opale permet d'intégrer et de gérer des ressources variées (textes, images, vidéos, formules mathématiques, etc.). Une bonne illustration des possibilités est donnée par le tutoriel (Opale 2019).

Cette figure illustre le contenu d'un module de formation Opale. Un module est composé de grains de contenu et d'activités d'apprentissage ou d'auto-évaluation. Ces éléments de base peuvent être regroupés dans des divisions.

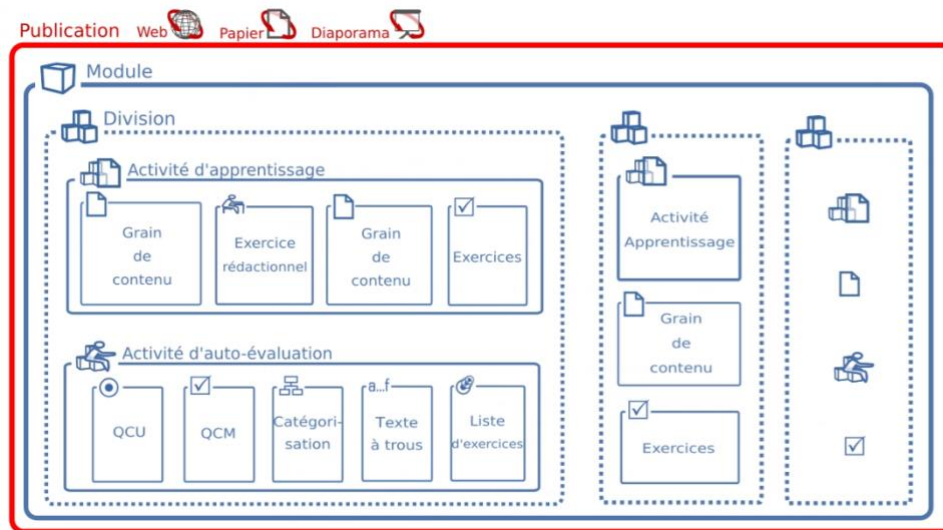


Figure 10-2. Extrait (Opale 2019). Rubrique : Les publications Opale > Publications multi-support

Dans l'exemple ci-dessous, le menu de gauche donne accès à des grains de contenu et à un exercice. Un glossaire a été défini pour le module et les mots appartenant au glossaire sont mis en évidence.

Objectifs

- Introduction
- Le modèle IFC
- Zooms sur le modèle
- Introduction**
- Identification et historique
- Exercice : Qui a créé ce fichier et avec quel logiciel ?
- La composition des éléments
- La relation entre un mur et une fenêtre
- L'arborescence spatiale et les regroupements de locaux
- La localisation
- Les références externes
- Délimitation des espaces
- Objets - Objets types
- Propriétés et quantités

Activité d'apprentissage

Introduction

Le modèle IFC est censé couvrir tout le cycle de vie d'une construction et tous les points de vue sur cette construction. Nous allons vous présenter une série de zooms sur le modèle correspondant à des sujets bien délimités.

Les diagrammes qui illustrent chaque sujet sont conformes au formalisme UML.

Nous avons adopté la convention de couleurs suivantes :

- Le blanc est réservé aux classes abstraites et leur nom est en italique
- Le jaune est utilisé pour les entités et le marron pour les associations entre entités (classes préfixées par IfcRel)

Affichage d'un terme du glossaire

UML : Unified Modeling Language (standard adopté par l'Object Management Group)

La cardinalité de la relation indique combien d'objets de chaque classe peuvent être impliqués.

Une instance de *IfcRelAssociatesMaterial* est liée à une instance et une seule de *IfcMaterial* (1).

Une instance de *IfcMaterial* peut n'être liée à aucune instance ou à un nombre quelconque d'instances de *IfcRelAssociatesMaterial* (0..*).

Une instance de *IfcRelAssociatesMaterial* est liée à une ou plusieurs instances de *IfcColumn* (1).

Une instance de *IfcColumn* peut n'être liée à aucune instance ou à un nombre quelconque d'instances de *IfcRelAssociatesMaterial* (0..*).

Grain de contenu

Affichage d'un terme du glossaire

UML : Unified Modeling Language (standard adopté par l'Object Management Group)

La cardinalité de la relation indique combien d'objets de chaque classe peuvent être impliqués.

Une instance de *IfcRelAssociatesMaterial* est liée à une instance et une seule de *IfcMaterial* (1).

Une instance de *IfcMaterial* peut n'être liée à aucune instance ou à un nombre quelconque d'instances de *IfcRelAssociatesMaterial* (0..*).

Une instance de *IfcRelAssociatesMaterial* est liée à une ou plusieurs instances de *IfcColumn* (1).

Une instance de *IfcColumn* peut n'être liée à aucune instance ou à un nombre quelconque d'instances de *IfcRelAssociatesMaterial* (0..*).

Figure 10-3. Extrait du module « les IFC pour les spécialistes »

2.2 Les publications

Le contenu d'un module Opale peut être publié sous différentes formes :

- Diaporama
- Support de cours en ligne
- Livret imprimable (format odt)
- Paquetage SCORM²⁰ pour intégration à une plateforme d'apprentissage en ligne

La génération de ces publications est automatique et hautement paramétrable.

2.3 Réutilisation et personnalisation

La colonne de gauche du tableau ci-dessous présente le premier niveau de l'organisation d'un module destiné au MS BIM. Il présente en détail le modèle IFC, puis le concept de vue, sous-ensemble du modèle. Après avoir introduit le standard MVDxml et le logiciel IfcDoc, un exercice est proposé pour vérifier la conformité d'une maquette numérique à des contraintes exprimées en MVDxml. La dernière division du module est consacrée aux clauses qui composent certains cahiers des charges BIM.

Une division ou un grain de contenu peuvent être définis à l'intérieur d'un module ou externalisés. La colonne centrale du tableau rassemble les éléments externalisés qui, de ce fait, peuvent être appelés depuis d'autres modules comme nous l'avons matérialisé par des flèches.

La colonne de droite est un module destiné aux étudiants de l'ENSA de Toulouse qui suivent l'enseignement « Travail collaboratif » en première année de master. Nous considérons qu'ils ont besoin d'une certaine connaissance du modèle IFC pour résoudre les difficultés qu'ils pourront rencontrer en matière d'interopérabilité. En revanche, il nous semble prématuré de développer les autres sujets. Les objectifs, l'introduction, la présentation des zooms sur le modèle et la conclusion sont spécifiques à chaque module.

Module IfcPlus	Ressources partagées	Module Travail Collaboratif
- Objectifs - Introduction Division → - Division Zooms		- Objectifs - Introduction Division ← - Division Zooms
Grain →	Identification ←	Grain ←
Exercice →	Qui a créé le fichier ? ←	Exercice ←
Grain →	Matériaux ←	Grain ←
...	...	...

²⁰ Sharable Content Object Reference Model : suite de normes techniques relatives aux systèmes d'apprentissage en ligne

Qui a créé ce fichier et avec quel logiciel ?

 Correction  Recommencer



Ouvrez le fichier Qui.ifc avec un simple traitement de texte. Recherchez au début de la section DATA les instances des classes IfcPerson, IfcOrganization et IfcApplication.

Complétez le texte ci-dessous en faisant des copier/coller à partir du fichier IFC :

Qui.ifc 

Le fichier IFC a été créé par une dont l'adresse électronique est .

Cette personne appartient à l'organisation .

Elle a utilisé la version du logiciel édité par la société .

3. Retours d'expérience

Notre premier cours en ligne pour le MS BIM a été développé en 2014 par les membres d'une cellule dédiée. Nous avons transmis un document Word hiérarchisé en mode plan, l'énoncé des exercices et les réponses attendues. Ce support a été scénarisé avec Opale puis mis à disposition sur la plateforme Moodle du MS BIM.

Ce module n'a pas évolué depuis 2014 car il porte sur les parties stables du cours sur l'interopérabilité à savoir des méthodes de modélisation des systèmes d'information comme UML et BPMN.

En 2018, en réponse à une demande d'un approfondissement du sujet, nous avons décidé de créer un nouveau cours en ligne sur les IFC. Nous avons souhaité cette fois nous impliquer dans le développement du module et nous présentons ci-après les leçons de cette expérience.

3.1 Robustesse

Opale est une application stable, performante et robuste. Il est aisé de réorganiser librement les ressources, de les déplacer d'un dossier à l'autre car les liens sont automatiquement mis à jour. L'apprentissage est relativement rapide grâce à un tutoriel de qualité (Opale 2019).

3.2 Modularité

La modularité permet de construire plusieurs combinaisons de ressources pédagogiques pour différents publics. Cela nous a été utile à plusieurs reprises et notre investissement initial a été rapidement rentabilisé.

La publication d'un module peut être personnalisée de deux façons :

- par la composition, en sélectionnant les seuls grains et activités pertinents
- par l'apparence en jouant sur des jeux de styles

3.3 Incitation à développer des activités

Opale propose une grande variété d'activités d'apprentissage et d'évaluation : QCM, exercices rédactionnels, exercices d'ordonnancement, de catégorisation, textes à trous,...

Il faut les exploiter car un module doit combiner l'exposition via des grains de contenu et des activités qui jalonnent la progression de l'apprenant.

Une activité contiendra à la fois les instructions de l'exercice, les fichiers éventuellement nécessaires et un retour pour expliquer les résultats attendus. Ce mécanisme d'encapsulation permet de proposer un TD prêt à l'emploi et facilement intégrable dans un module par un enseignant autre que celui qui a modélisé l'activité.

Si le module est intégré à une plateforme comme Moodle via le dépôt d'un paquetage au format SCORM, l'enseignant pourra également suivre le parcours des apprenants.

3.4 Polyvalence

Un module développé avec Opale se prête à des usages multiples : à distance, en présentiel, et mixte.

3.5 Le retour sur investissement

Notre apprentissage initial a consisté à transformer quelques supports de formations existants en ressources puis en modules Opale. La création d'un module de formation avec Opale prend nécessairement plus de temps que la production de supports classiques mais on en recueille les bénéfices dès qu'on compose un module à partir de grains de contenu et d'activités et surtout lorsque certaines des ressources sont mobilisées dans plusieurs modules.

En outre, la production des publications est automatique et il est facile et rapide de répercuter sur les publications des modifications apportées au corpus des ressources pédagogiques.

3.6 Analogie avec la production de maquettes numériques et de documents traditionnels

Puisqu'il est question de l'enseignement du BIM, il est instructif de faire un parallèle entre la production de modules de formation et celle d'une maquette numérique :

Production de ressources pédagogiques	Production de maquettes numériques
Les ressources pédagogiques (grains de contenu, activités) peuvent être mobilisées dans différents modules de formation.	Les objets BIM regroupés dans une bibliothèque de l'agence peuvent être utilisés dans différents projets.
Les publications sont générées automatiquement sur des supports variés (diapositives, support de	Les documents traditionnels (plans, coupes, élévations, vues 3D) et non traditionnels

cours en ligne, livret imprimable, packaging)	(nomenclatures d'objet) sont extraits automatiquement de la maquette numérique.
La modification d'une ressource pédagogique est répercutée sur les publications par la régénération	La modification d'un élément de la maquette numérique est répercutée sur tous les documents extraits.
Les styles de publications proposés en standard sont neutres et relativement austères. Il est possible de personnaliser ses publications en définissant ses propres styles	Les bibliothèques standard d'objets BIM sont peu fournies. L'architecte a intérêt à savoir modéliser ses propres objets et à affirmer ainsi le style de représentation de l'agence

Dernier point de comparaison : la démarche qui conduirait un enseignant à utiliser un outil de création de modules de formation comme Opale est finalement assez proche de celle d'un architecte qui déciderait de remplacer des tâches de dessin dont il a l'habitude par la production de maquettes numériques.

La marche est haute dans les deux cas et il est probable que les résistances au changement seront du même ordre.

4. Production collaborative de ressources pédagogiques

4.1 Avec un outil adapté

Les enseignants des ENSA impliqués dans l'enseignement du BIM et qui ont contribué à l'élaboration du référentiel souhaitent que les compétences qu'il contient soient acquises par les futurs professionnels que forment nos écoles.

Le BIM et la maquette numérique peuvent donner lieu à de multiples enseignements théoriques et pratiques sur la base du référentiel des ENSA. Les outils évoluent sans cesse et de nouveaux documents de référence sont régulièrement publiés. Les opérations conduites en BIM se multiplient. Bref, même en menant une veille assidue, il est impossible à un enseignant d'être au point sur tous les sujets.

D'où l'idée de mobiliser des connaissances réparties chez des enseignants déjà investis. A titre d'exemple, nous avons construit un module Opale sur la numérisation de l'existant et imaginé des exercices utilisant les nuages de points produits par les élèves du lycée technique Aristide Bergès de Saint Girons.

Comment mutualiser des ressources pédagogiques ? La publication de ressources sur un site comme Eduscol est une solution qui convient bien à certains types de ressources comme la vidéo. Mais elle ne permet pas une véritable appropriation de la ressource par les enseignants ce qui nous semble être une des conditions du succès.

La mise à disposition de grains de contenu et d'activités permettrait à l'enseignant de les intégrer à sa manière dans ses modules, à côté des ressources qu'il aura lui-même définies.

On concilierait ainsi une volonté légitime de personnalisation et la réutilisation de ressources produites par un autre enseignant et dont la paternité sera toujours reconnue.

Nous sommes arrivés à la conclusion qu'Opale est une réponse opérationnelle et adaptée à ce besoin. Scenari permet en outre la collaboration à distance via un entrepôt de ressources pédagogiques rassemblées sur un serveur dédié. Cet atelier partagé pourrait constituer le support d'une production collaborative de ressources pédagogiques.

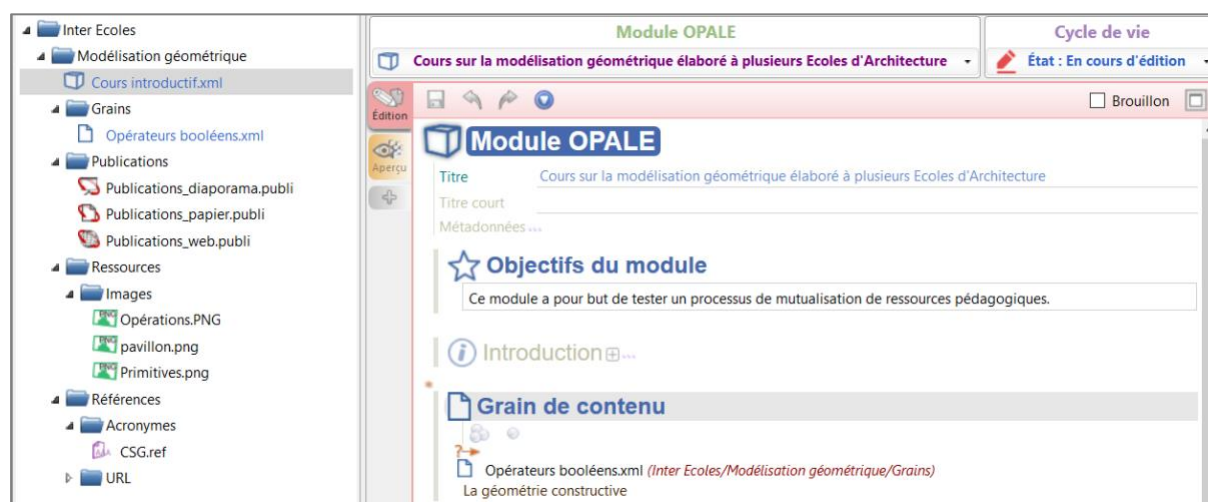


Figure 10-4. entrepôt distant inter écoles

4.2 Le projet inter ENSA

Il a pour objectif la production collaborative de ressources numériques pour l'enseignement du BIM et de la maquette numérique. Ces ressources seraient mises à disposition des enseignants de toutes les ENSA.

La démarche suivante va être menée par un groupe de membres du réseau Culture numérique des ENSA :

1. Déclaration d'intention de traiter un sujet dans le domaine d'expertise de l'enseignant et pour lequel il dispose déjà de supports classiques
2. Auto-formation à Opale et Scenari puis réalisation par chaque membre du groupe d'un module de formation
3. Compléments de formation aux outils et assistance à distance si nécessaire
4. Réunion générale de présentation des modules
5. Dans l'esprit d'une convention BIM, définition d'une organisation et de règles pour favoriser la collaboration des enseignants (granularité, structuration des ressources partagées, styles,...)
6. Production d'un premier ensemble de modules de formation destinés à préparer à une sélection des compétences du référentiel
7. Diffusion des modules à l'ensemble des ENSA.

5. Conclusion

Les outils dédiés à la création et à la publication de modules de formation ont fait leurs preuves mais sont encore très peu utilisés dans la communauté des enseignants des ENSA. De par leur modularité, les ressources pédagogiques ainsi produites peuvent être réutilisées par d'autres enseignants qui pourront se les approprier en les intégrant dans leurs modules de formation.

Le choix des modules à développer en priorité devra être guidé par le référentiel des ENSA. Ils devront répondre aux compétences les plus essentielles et en particulier celles qui préparent au travail collaboratif.

Les enseignants disposeront ainsi d'un corpus de ressources pédagogiques commun et partagé et pourront consacrer davantage de temps à l'accompagnement du projet et à l'appropriation de pratiques BIM par tous les étudiants.

Bibliographie

- [1] PTNB, «<http://www.batiment-numerique.fr/uploads/DOC/Barom%C3%A8tre/PTNB%20-%20Barometre%203%20-%20Rapport%20detaille.pdf>,» 2018. [En ligne].
- [2] A. Ghaffarianhoseini, D. Doan, T. Zhang, N. Naismith et J. Tookey, *A BIM Readiness & Implementation Strategy for SME Construction Companies*, 2016.
- [3] N. EINM1600207D, *Décret n° 2016-360 du 25 mars 2016 relatif aux marchés publics - Version consolidée au 28 décembre 2017*, 2017.
- [4] F. Khosrowshahi et Y. Arayici, Roadmap for implementation of BIM in the UK 19(6), 610–635, 2012.
- [5] J. Harty, T. Kouider et G. Paterson, *Challenges, risks and benefits for SMEs*, 2016.
- [6] C. Babic et D. Rebolj, «Culture change in construction industry: from 2D toward,» *Journal of Information*, p. 86, 2016.
- [7] J. Daniel, «Making Sense of MOOCs : Musings in a Maze of Myth, Paradox and Possibility,» *Journal of Interactive Media in Education (JIME)*, 2012.
- [8] LesDigiteurs, «<https://mooc-francophone.com/cours/la-transformation-digitale-des-tpe-pme/>,» 2017. [En ligne].
- [9] Asder1, «<https://mooc-francophone.com/cours/mooc-batiment-performant-et-ecologique/>,» 2016. [En ligne].
- [10] UNTEC, «<https://mooc-francophone.com/cours/economie-de-la-construction-prescrire-estimer-a-lheure-du-bim/>,» 2017. [En ligne].
- [11] Asder2, «<https://mooc-francophone.com/cours/renovation-performante-les-cles-de-la-rehabilitation-energetique/>,» 2017. [En ligne].
- [12] INSA Toulouse et GA Smart Building, «<https://mooc-batiment-durable.fr/courses/course-v1:GA-INSATOULOUSE+2017MOOCBAT13+SESSION01/about>,» 2018. [En ligne].
- [13] M. Cisel, *Utilisations des MOOC: éléments de typologie*, Doctoral dissertation - Université Paris-Saclay, 2016.
- [14] J. Condé, *Pourquoi et comment participer à un MOOC ? Quel(s) processus et parcours d'apprentissage(s) ?*, Doctoral dissertation - Université Paris-Saclay, 2014.
- [15] FFB, «<http://www.ffbim.fr/le-bim-comment-aborder-un-appel-d-offres>,» [En ligne].

- [16] M. Raducanu, «<http://www.fermeture-store.org/files/snfpsa/Commun/02-ACTUALITES/Journee-BIM/Outil-d-aide-a-la-decision-pour-repondre-a-un-appel-d-offre-BIM-V3.2.pdf>,» 2017. [En ligne].
- [17] PTNB, «<http://www.batiment-numerique.fr/news/91/27/Publication-des-livrables-ABV.htm>,» 2017. [En ligne].
- [18] D. Moalic et D. Termignon, «Analyse du marché français des SPOC,» 2015.
- [19] I. Quentin, «Commission Nationale du Débat Public,» 2015.
- [20] RNR, «Inscription Concours Batissiel du RNR,» 2019. [En ligne]. Available: <http://batissiel.information-education.org/2019/index.php>. [Accès le 27 03 2019].
- [21] X. Jourdain, «3e prix du Concours Batissiel Plus catégorie Sup' pour le projet SAPHIRE P01,» 06 06 2018. [En ligne]. Available: http://dgc.ens-paris-saclay.fr/version-francaise/actualites/3e-prix-du-concours-batissiel-plus-categorie-sup-pour-le-projet-saphire-p01-385430.kjsp?RH=DL_DGC-FR. [Accès le 27 03 2019].
- [22] T. Sanchez et N. Ngo-Xuan, «Concours Batissiel Plus catégorie SUP : 2ème prix pour nos étudiants !,» 11 06 2018. [En ligne]. Available: <http://charles-de-gaulle.entmip.fr/actualites/concours-batissiel-plus-categorie-sup-16644.htm>. [Accès le 27 03 2019].
- [23] S. Codet, «Quand nos étudiants conçoivent l'école de demain,» 06 06 2018. [En ligne]. Available: <https://www.u-cergy.fr/fr/ufr-sciences-et-techniques/departement-de-genie-civil-et-infrastructures/actualites/competitions/batissiel-2018.html>. [Accès le 27 03 2019].
- [24] S. Codet, «Défi BIM 2016 - 2nde place au Défi BIM Innovation,» 07 04 2016. [En ligne]. Available: <https://www.u-cergy.fr/fr/ufr-sciences-et-techniques/departement-de-genie-civil-et-infrastructures/actualites/competitions/defi-bim-2016.html>. [Accès le 28 03 2019].
- [25] C. Donas, «Batissiel Plus : LE concours pour découvrir les enjeux du BTP !,» 11 07 2018. [En ligne]. Available: <https://emploi-btp.lemoniteur.fr/edito/article/batissiel-plus-le-concours-pour-decouvrir-les-enjeux-du-btp-aea-9432>. [Accès le 06 06 2019].
- [26] P. Durand, Titre de l'article, Cachan: éditeur, 2019.

Architectures numériques : pratiques de la modélisation paramétrique

JUTAND Alix ¹

¹ *Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse*

Résumé

Cet article présente un ensemble d'explorations et de réflexions menées à l'ENSA de Toulouse dans le cadre du séminaire Architectures Numériques. Il s'agit, au travers de cet enseignement, d'expérimenter les potentialités offertes par les outils numériques et de questionner leur utilisation par l'architecte à la fois dans son processus de création et dans la gestion de projet. L'article porte ainsi sur une expérimentation de la modélisation paramétrique menée au sein de ce dispositif pédagogique en tant qu'étudiante.

Mots clefs

Architectures numériques, modélisation paramétrique, conception, forme architecturale, algorithme évolutionnaire

1. Introduction

Le séminaire Architectures Numériques, enseignement de Master animé au sein de l'Ecole Nationale d'Architecture de Toulouse, porte sur l'utilisation des outils numériques d'aujourd'hui et de demain au service du projet architectural. Il permet aux étudiants d'explorer les nouveaux processus de conception et de partage d'information dans ce contexte technologique. Cet enseignement nous amène ainsi en tant qu'élèves architectes à nous questionner sur la transition numérique ainsi que son impact sur l'évolution de la création architecturale et de la profession.

La première partie de ce séminaire est organisée comme une phase de découverte et de pratique des différents outils logiciels pour la modélisation paramétrique et la pratique collaborative BIM. Ponctué de phases théoriques et d'analyse, elle tente de répondre aux interrogations que peut induire exploration du numérique et pratiques architecturales. C'est dans ce cadre que s'inscrit cet écrit.

Dans un second temps, l'enseignement accompagne les étudiants dans la rédaction d'un mémoire de Master présentant la réflexion de chacun sur une problématique propre, en lien avec les recherches et interrogations soulevées au long des premières phases.

Cet article présente donc ici quelques expérimentations menées dans le cadre de ce séminaire Architectures Numériques, en croisant pratique et analyse des outils de modélisation paramétrique au service de la création architecturale.

2. Interroger le numérique comme exploration des processus de conception de formes

La modélisation paramétrique, permise par la puissance de calcul des ordinateurs actuels, permet la création de formes à partir d'éléments/valeurs variables préétablis appelés paramètres dont dépend la définition de l'objet architectural. Ainsi la forme générée n'est pas fixée dans une géométrie figée, elle reste adaptable et évolutive tout au long du processus de conception.

Cette pratique a pour caractéristique de se présenter sous la forme d'une modélisation encodée, bâtie à partir d'un algorithme écrit par l'architecte lui-même. L'objet architectural est ensuite généré par exécution du code informatique.

Concrètement, on dispose d'une interface de codage graphique tel que le logiciel Grasshopper qui permet de réaliser des programmes à partir de blocs non modifiables (de type boîte noire), chacun encodé pour une fonction précise. A partir de ces fonctions, le concepteur monte un réseau d'opérations mathématiques qui donneront forme à l'objet architectural. Ce code génératif fixe est ensuite adaptable en fonction des différents besoins du projet par l'ajout de paramètres introduits en entrée qui autorisent une variation de la forme de l'objet sous contrainte. A chaque modification d'un paramètre, l'ordinateur recalcule la solution mathématique puis la transcrit dans l'interface graphique. Cette modélisation est donc très interactive et permet de visualiser instantanément la solution. Enfin, il est possible de figer la géométrie obtenue dans un certain état et de la récupérer sur n'importe quel logiciel de conception architecturale pour poursuivre la modélisation hors du contexte paramétrique.

Si l'interface de codage graphique peut paraître intuitive elle reste quand même complexe dans son utilisation. En effet, le concepteur doit s'approprier le langage de l'outil pour parvenir aux résultats graphiques escomptés. De plus les blocs de codage étant fixes, on se trouve parfois limité dans l'expression mathématique d'une fonction sculpturale simple. En effet, le processus de création se fait par un ensemble de transformations identifiables à travers des verbes d'actions et de conditions qu'il faut ici traduire en langage mathématique.

Par ailleurs, le principe de boîtes noires à venir assembler est aussi contraignant et peut interroger sur la place laissée par le logiciel à l'architecte dans la génération de la forme. En d'autres mots, tout se passe comme si le concepteur était autorisé à créer dans la limite de ce que le logiciel l'autorise à faire. Tout en ouvrant des champs de conception révolutionnaires, le numérique contraint aussi le langage de l'architecte à celui du logiciel.

La force de ces logiciels paramétriques réside aussi dans la grande palette d'applications et de calculs pouvant y être intégrés. Sous Grasshopper des plugs-in de calcul de structure (Karamba) et de résolution de systèmes physiques (Kangaroo) permettent d'optimiser les formes créées et de résoudre des calculs géométriques très complexes : reprise de charges, comportement de la forme sous contraintes, création de maillages, pavages, etc. Le logiciel Grasshopper offre ainsi la possibilité d'intégrer un large panel de contraintes dans la définition de l'objet architectural. Le travail de conception n'est donc plus seulement axé sur des choix esthétiques ou logiques, des réflexions structurelles, physiques et de fabrication sont prises en compte. Avec cet outil numérique, l'architecte peut reprendre le contrôle sur l'objet qu'il dessine et donc sur le projet au sens large. En effet, il intègre dès la définition de la forme l'ensemble des éléments impactant le processus. Son travail se retrouve à nouveau au centre de la réflexion de l'équipe de conception et de la prise de décision.

Les modeleurs paramétriques sont aussi des assistants d'exception dans l'exploration de formes. Ainsi, des algorithmes dits évolutionnaires reproduisent le mode de fonctionnement des systèmes naturels en utilisant le langage de la génétique. Au lieu de résoudre analytiquement les équations complexes d'un problème à plusieurs variables, le logiciel utilise la notion de gène. Ainsi le solveur évolue vers la solution du système d'équations en évaluant la proximité de chaque état obtenu avec le résultat attendu.

Le processus de calcul se base sur les paramètres variables du système appelés gènes. Le logiciel lance une première génération aléatoire de génomes dans l'espace de résolution du problème posé et évalue leur adéquation avec la solution recherchée. A l'issue de ce premier tour, les génotypes des états les plus favorables sont croisés entre eux afin de converger vers la (ou une) solution du problème posé. Au cours du processus de sélection génétique, le programme développe aussi des mutations, c'est-à-dire des solutions hors du champ réduit de solutions défini au fur et à mesure de l'avancée du programme, afin de vérifier qu'une solution plus optimale n'aurait pas été écartée.

Si cette méthode de calcul est particulièrement puissante, elle démontre aussi par son processus certaines faiblesses. En effet, l'introduction de mutations est parfois insuffisante pour extraire l'algorithme de son processus de réduction de population. Une solution plus optimale peut alors être omise. De plus, dans le cas d'un problème à plusieurs solutions, le logiciel converge seulement vers l'une d'entre elles. Le choix de l'utilisateur entre ces différentes possibilités se trouve alors réduit. Enfin, les conditions de départ (valeurs d'entrée des paramètres) au début de l'exécution du programme influencent très fortement la solution finale. Le concepteur se doit donc d'être vigilant quant aux réponses apportées par cet outil et intervenir dans le paramétrage du processus de résolution pour obtenir les résultats désirés.

Par ailleurs, la recherche de solution est lente et doit être reconduite à chaque modification du programme. Lorsque l'analyse évolutionnaire se fait de façon multicritère, c'est-à-dire que la solution recherchée dépend de plus d'un seul gène, la simulation devient lourde. Il peut donc être utile d'utiliser

les méthodes d'intelligence artificielle intégrées à Grasshopper. Le plug-in Crow, basé sur des réseaux de neurones artificiels, permet ainsi d'apprendre au programme à reconnaître par lui-même un certain type d'éléments et donc de réaliser une pré-sélection des solutions.

Ici, la complexité du programme devient un frein évident à l'utilisation de ces méthodes numériques. En effet, un temps non négligeable de formation et de pratique est nécessaire avant de pouvoir maîtriser ces outils. Il est donc compréhensible que de nombreux architectes restent réticents à l'appropriation de ce type de modélisation. Le concepteur qui n'a pas une connaissance approfondie du modèleur peut rapidement se retrouver limité dans sa création et c'est ce qui sans doute effraie avant tout les sceptiques. Pour dépasser ce sentiment de dépossession de sa création, le concepteur doit prendre le temps d'évaluer sa pratique du numérique et comprendre les codes de développement, afin de gérer son algorithme de façon efficace et cohérente en lien avec son processus de création.

3. Expérimentation de la modélisation paramétrique sous Grasshopper

L'objectif de cet exercice était à la fois de me familiariser avec la modélisation paramétrique de Grasshopper et d'expérimenter les différents outils de calcul du logiciel.

Dans le cadre de mes explorations architecturales de l'atelier de projet architectural du semestre, j'en étais venue à la question de l'optimisation d'une forme et de son système structurel. En effet, mon travail portait sur une architecture d'école mobile pensée comme un kit devant être facilement transportable.

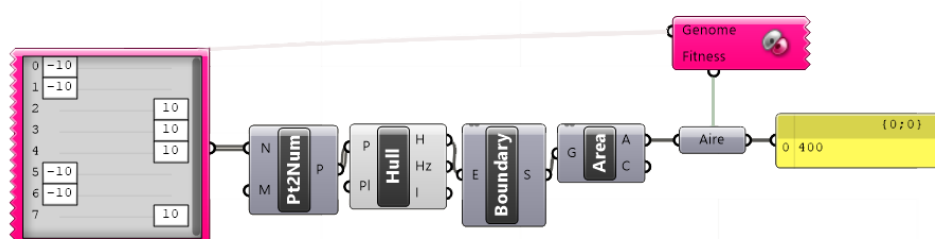
Après avoir suivi l'initiation au paramétrique menée au cours de ce séminaire Architectures Numériques, j'ai voulu expérimenter l'optimisation de formes à partir d'un ensemble de contraintes définies en entrée, à savoir dans le cadre de mon projet, et en première approche, obtenir une surface au sol maximale, limiter les dimensions des éléments structurels ainsi que le poids de la structure.

Cette partie se propose de décrire les expérimentations menées au cours de cet exercice.

Définition des contraintes morphologiques

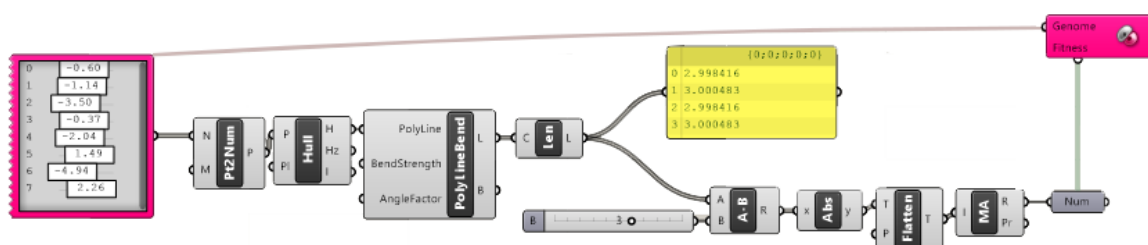
Maximisation de la surface au sol

On suppose une géométrie (plan de l'école) définie à partir de 4 points d'abscisse et d'ordonnée comprises entre -10 et 10. A l'aide d'un algorithme évolutionnaire monocritère on cherche à déterminer la forme qui maximise la surface au sol. Après exécution du programme on obtient comme attendu le carré maximal autorisé d'aire égale à 400.

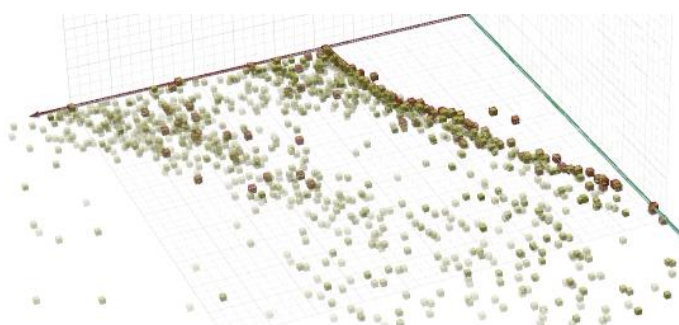


Minimisation de la distance entre points

A présent on considère les points définis en première partie comme les points d'ancrage des poteaux de la structure porteuse de cette école. Pour que la structure soit facilement transportable nous limitons arbitrairement cette distance à 3m. Après calcul d'optimisation nous obtenons bien un parallélogramme dont chaque côté approxime les 3m.



Maintenant nous décidons de combiner ces deux contraintes opposées dans le programme évolutionnaire. Il s'agit maintenant d'un programme multicritère. Nous obtenons alors le graphique suivant, propre au plug-in Octopus qui donne différentes solutions évaluées par le programme. Le concepteur peut alors visualiser et choisir une forme générée qui répond au mieux aux deux contraintes imposées.

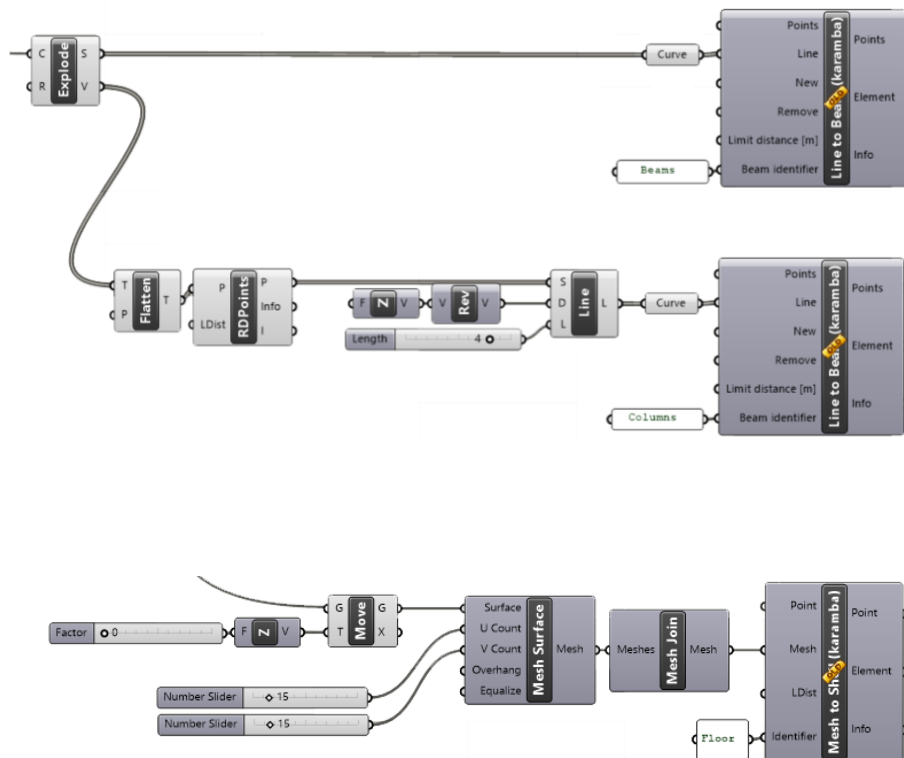


Cependant on constate qu'il est difficile ici de trouver, au milieu des solutions proposées, la forme optimale qui serait théoriquement un carré de 3m de côté. Il s'agit donc de générer un ensemble de formes répondant plus ou moins aux critères fixés plutôt que d'obtenir la solution exacte du problème.

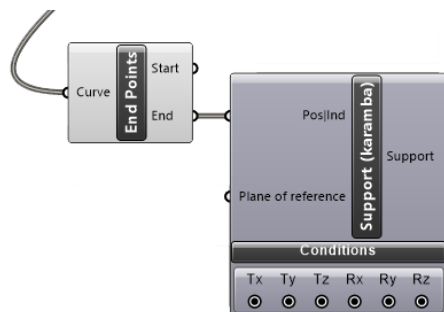
Modélisation des éléments structurels à l'aide de l'outil Karamba

La deuxième partie de l'exercice se concentre sur la modélisation du système structurel de la forme définie en première partie, afin de prendre en compte par la suite ces contraintes structurelles réelles dans le processus de conception de l'objet architectural. De plus, cette partie était pour ma part une opportunité pour explorer les possibilités du plug-in de calcul structurel Karamba non développé au cours du séminaire.

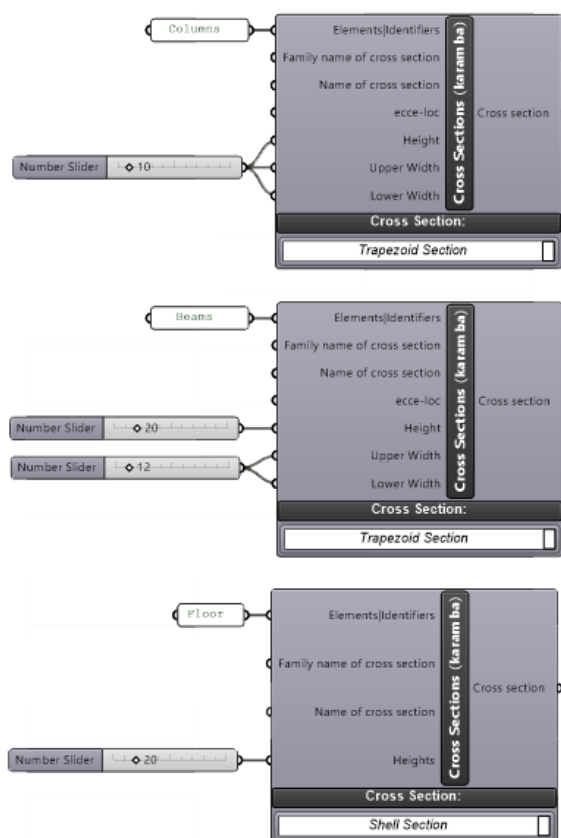
Définition des poteaux, poutres et plancher.



Détermination des conditions d'appui du système constructif.
On considère ici des encastres en pied de poteaux.



Définition des sections des éléments structuraux.

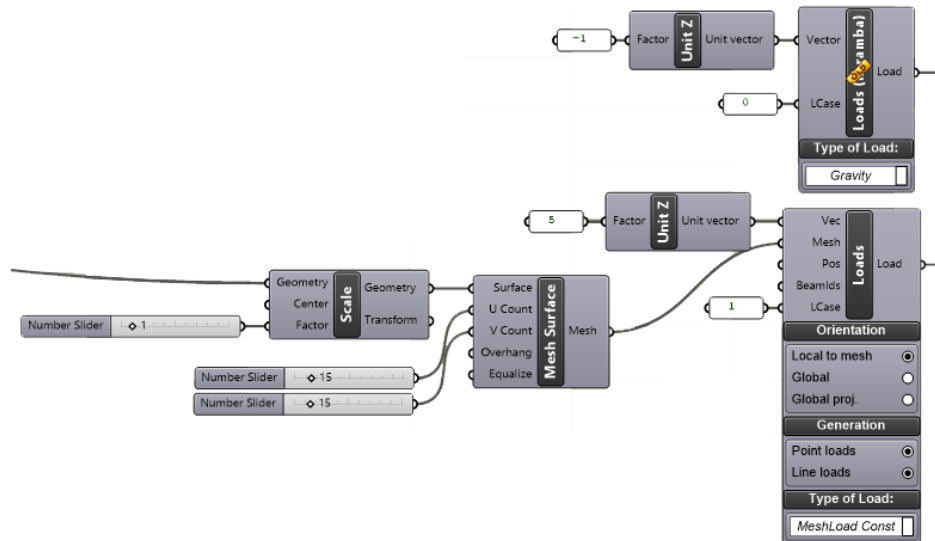


Choix du matériau de construction.

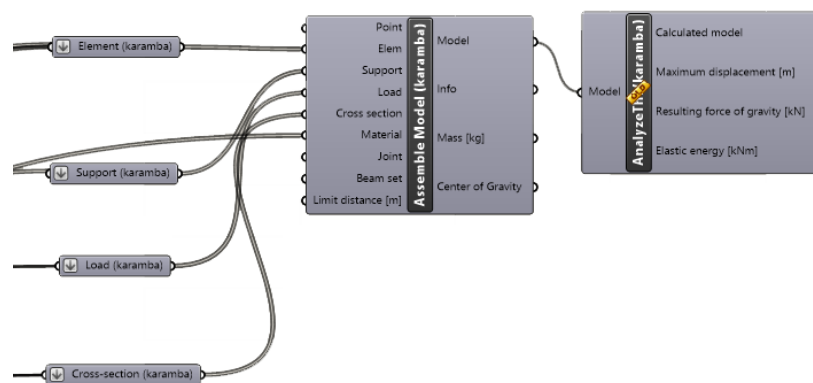


Définition des charges extérieures appliquées au système.

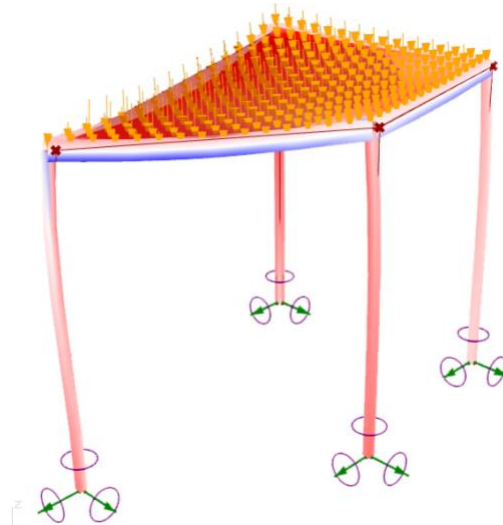
Ici sont considérés le poids de la structure ainsi qu'une charge de valeur 5 appliquée sur l'ensemble de la dalle



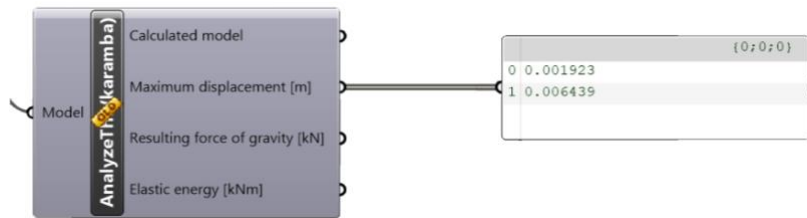
Compilation du modèle et calcul numérique de la structure.



On obtient le résultat graphique suivant qui permet de vérifier visuellement le bon comportement de la structure.

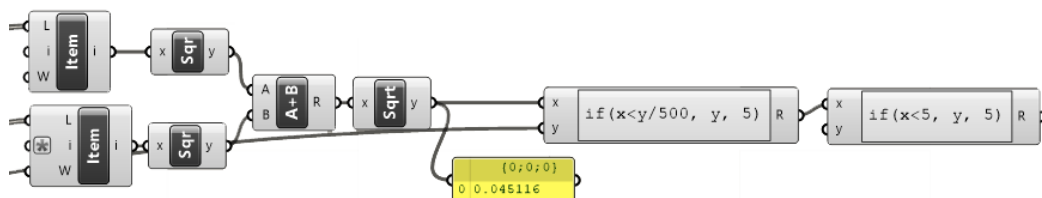


Le logiciel permet aussi d'obtenir la valeur numérique du déplacement maximal de la structure.



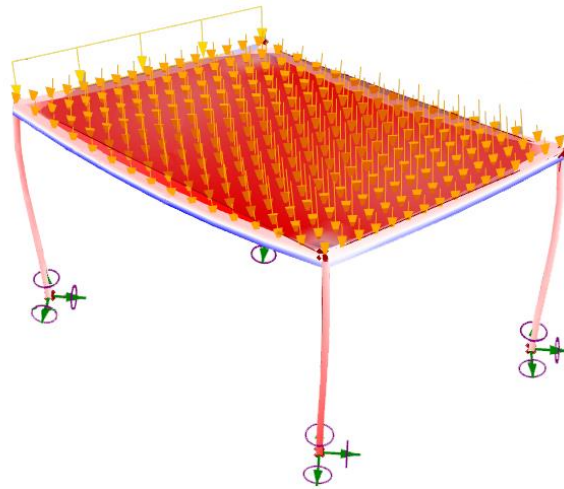
Retour aux contraintes morphologiques

On vient maintenant limiter le déplacement maximal de la structure à 1/500 de la portée la plus grande et réintroduire alors la portée la plus grande autorisée par le calcul structurel dans le calcul d'optimisation de la première partie de l'exercice. Ainsi au lieu de limiter la portée des poutres à une longueur arbitraire de 5m, les poutres doivent maintenant se limiter en longueur au minimum entre la valeur autorisée par le calcul structurel et la valeur de 5m pour permettre un transport facile des éléments. Pour cela le logiciel autorise l'utilisateur à entrer des expressions mathématiques ce qui permet de contourner les limitations induites par les blocs de fonctions prédéfinis.

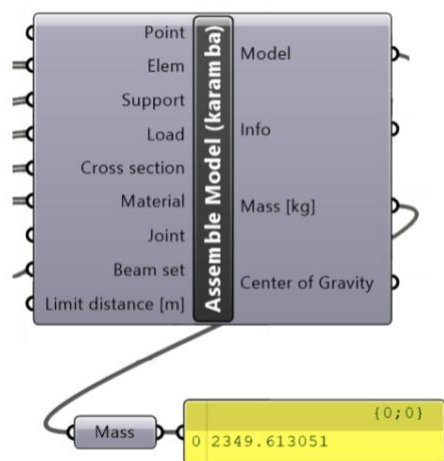


A présent l'algorithme créé cherche la forme optimale permettant à la fois d'obtenir une surface au sol la plus grande possible tout en limitant les portées des poutres telles que leur déformation soit inférieure à un déplacement de $L/500$ (contrainte structurelle) et que leur longueur soit inférieure à 5m (contrainte de transportabilité de la structure). Si on relance le calcul du code ainsi créé, l'exécution est beaucoup plus longue. En effet, à chaque itération d'optimisation, l'algorithme recalcule le modèle structurel de l'objet.

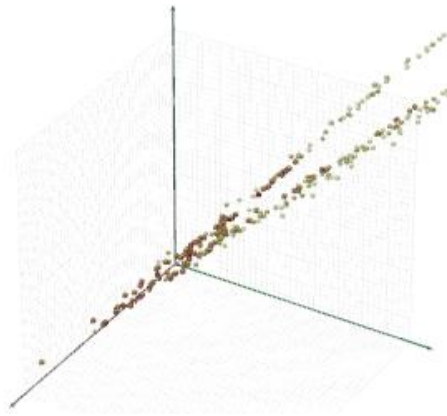
Après quelques instants, on obtient par exemple ce résultat intéressant qui répond aux critères demandés : les longueurs de poutres vont de 3,75m à 5,3m pour une surface au sol de 16,7m, le déplacement maximal de la structure vaut $0,008\text{m} < 0,01\text{m} = L/500$.



Par ailleurs, la génération de la forme étant totalement paramétrique nous pouvons à tout instant décider de changer les dimensions des éléments structurels, les valeurs de forces appliquées au système, les contraintes imposées ou bien le nombre de points d'entrée définissant la forme générée. Par exemple nous décidons d'ajouter une nouvelle contrainte : limiter le poids de la structure pour une manutention facilitée. Nous obtenons cette valeur très facilement grâce au bloc « model » de Karamba.

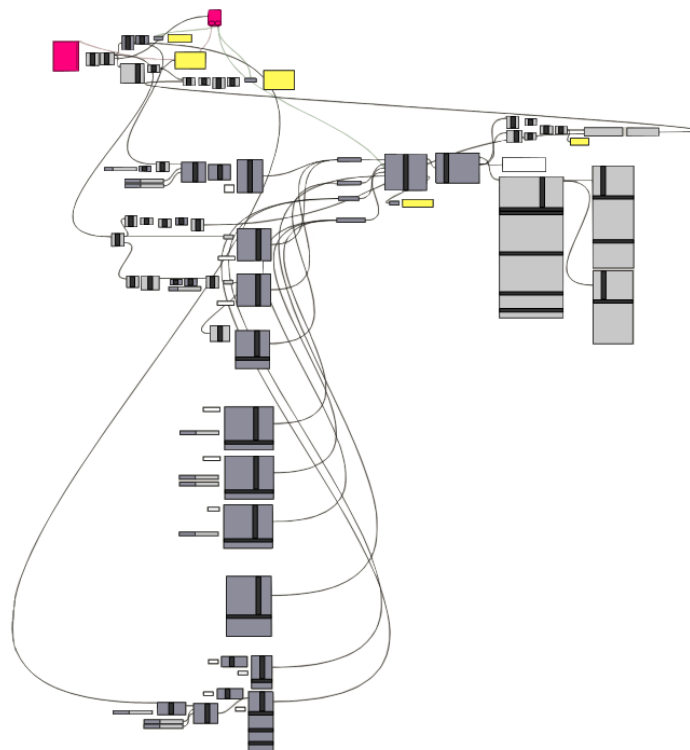


Le graph des résultats de l'algorithme évolutionnaire multicritère est maintenant à trois dimensions (3 critères). L'utilisateur peut donc sélectionner, à partir de ce nuage de solutions, la forme qui répond le mieux aux contraintes qu'il a imposées.



Nous pouvons, à travers ce court exemple, mesurer la force d'un logiciel comme Grasshopper dans la définition d'un objet architectural. Le concepteur peut non seulement créer une forme paramétrique qu'il pourra modifier en fonction de différents critères, mais il peut directement utiliser le code du logiciel pour résoudre des problèmes d'optimisation simples à formuler mais très complexes à résoudre par les méthodes de calcul analytique. L'architecte peut aussi intégrer des contraintes techniques à son modèle pour évaluer la faisabilité de son projet et faciliter les échanges avec les bureaux d'ingénierie. Le programme devient un fichier de collaboration entre les différentes parties prenantes du projet dès la génération de forme.

Bien sûr on peut toujours critiquer la complexité et la relative longueur d'exécution d'un tel programme, mais au vu des possibilités qu'il offre ces critiques restent mineures.



La problématique qui se pose ici plus sérieusement et celle du « lâcher prise » qu'expérimente le concepteur lors de la génération de forme. Après avoir défini les paramètres de génération et imposé des contraintes, l'architecte se trouve quelque temps dépossédé de l'objet qu'il construit. Le programme en prend momentanément le contrôle avant de présenter au travers de l'interface graphique des formes

sorties comme par magie. L'utilisateur doit donc être conscient de l'impact du code dans la génération de son projet pour pouvoir l'extraire de cette démarche paramétrique et lui donner une signification.

4. Conclusion

L'exemple développé, couplant modélisation paramétrique et méthodes numériques de calcul, illustre ici la puissance des outils numériques et leurs potentialités pour la création architecturale. Par l'utilisation pertinente de ces méthodes de travail, la conception permet ainsi d'intégrer un ensemble d'éléments et de contraintes dès la définition de la forme en offrant, tout au long du processus de création, la possibilité d'évolution de l'objet architectural à l'aide de paramètres variables.

Avec ces outils numériques, le travail de l'architecte peut intégrer des dimensions de projet plus larges en remettant le processus de morphogenèse architecturale au centre de la réflexion de l'équipe de conception et de la prise de décision. D'autant plus qu'il est possible aujourd'hui, à l'aide des formats IFC, d'exporter par la suite le fichier vers les logiciels BIM. Se dessine alors une nouvelle méthode de gestion projet en favorisant une collaboration entre acteurs autour d'un objet unique partagé tout au long du processus de conception du projet, en considérant aussi une modélisation paramétrique de son architecture.

Les thèses professionnelles du Mastère Spécialisé BIM, leur nature, leur valorisation, la contribution à la consolidation des savoirs et des pratiques du milieu professionnel

CELNIK Olivier

Architecte, enseignant, expert BIM

Directeur du Mastère Spécialisé BIM Ecole des Ponts ParisTech – ESTP

e-mail : olivier.celnik@enpc.fr



MASTÈRE SPÉCIALISÉ® BIM, CONCEPTION INTÉGRÉE ET CYCLE DE VIE DU BÂTIMENT ET DES INFRASTRUCTURES



Abstract

The professional thesis of the BIM Advanced Master is the culmination of the training, and testifies to the candidate's ability to lead an original and successful reflection on an operational problem related to his professional environment.

It is also a support of experience and knowledge to be diffused and shared with the professional environment.

Key words

MS BIM, professional thesis, promotion, communication, diffusion

Résumé

La thèse professionnelle du Mastère Spécialisé BIM constitue l'aboutissement de la formation, et témoigne de l'aptitude du candidat à mener une réflexion originale et aboutie sur une problématique opérationnelle liée à son environnement professionnel.

Elle est également un support d'expérience et de connaissances à diffuser et partager avec le milieu professionnel.

Mots clefs

MS BIM, thèse professionnelle, valorisation, communication, diffusion

Le Mastère Spécialisé® BIM Conception intégrée et cycle de vie du bâtiment et des infrastructures de l'Ecole des Ponts-ParisTech - ESTP est une formation professionnelle accréditée par la Conférence des Grandes Ecoles (CGE), initiatrice du label Mastère Spécialisé®, qui le conditionne au respect de plusieurs critères académiques, dont la rédaction d'une thèse professionnelle.

Le label Mastère Spécialisé® répond au respect de modalités de fond et de forme des enseignements : recrutement des candidats, profils des enseignants et intervenants, modules de formation d'un minimum de 350 heures -portés à 400 dans le cas du MS BIM-, et accordant 45 ECTS, et thèse professionnelle accordant 30 ECTS.

Par sa valorisation importante, on voit que la thèse professionnelle n'est donc pas (que) le dernier exercice concluant la formation. Elle en est aussi le reflet, le résumé, témoignant des enseignements reçus et des travaux personnels des candidats, et devient la transition ou l'ouverture vers la vie professionnelle des diplômés. Elle constitue leur meilleure carte de visite de professionnel du BIM, témoignant de leur aptitude à maîtriser et développer un sujet complexe et ambitieux.

Elle est aussi généralement le signe des centres d'intérêt des entreprises, dont l'objectif en envoyant un candidat au MS BIM est parfois de le faire travailler ensuite sur un sujet stratégique dans le cadre de sa thèse.

Autre signe de l'importance des thèses professionnelles : il a été décidé que la conférence du MS BIM lors de BIMworld 2019 serait uniquement consacrée aux thèses, comme reflet de l'activité de la formation, et comme contribution aux réflexions et retours d'expériences de la communauté professionnelle (présentation détaillée plus loin dans le texte) :



Dès la création de la formation, une réflexion a été menée sur la diffusion et le partage des connaissances, réservant les enseignements aux mastériens, mais élargissant aux partenaires et au public des activités comme les conférences de fin de journée, les MasterClass, les jurys des travaux menés en Ateliers Pratiques, et principalement des thèses professionnelles.

Le MS BIM ayant été initié et développé par de nombreux acteurs, établissements du monde universitaire comme organisations professionnelles et pouvoirs publics, il est légitime de rendre disponible et partager les résultats concrets de ce travail collectif.

Le BIM est un processus de collaboration et de partage, ces valeurs animent la formation elle-même, et doivent logiquement se prolonger dans ses conclusions imprimées.

- Comment fédérer la communauté du MS BIM, c'est à dire rassembler ses membres, et les amener à échanger leurs idées et expériences (faire profiter les nouveaux des expériences des anciens, faire profiter les anciens des évolutions menées avec les nouveaux)
- Comment communiquer vers le monde extérieur les travaux et réflexions développés au sein du MS BIM (ceci pour contribuer aux avancées du BIM en France, pour positionner le MS BIM comme un acteur majeur et ainsi mettre en avant ses mastériens et intervenants, et aussi comme vitrine vers les futurs mastériens).

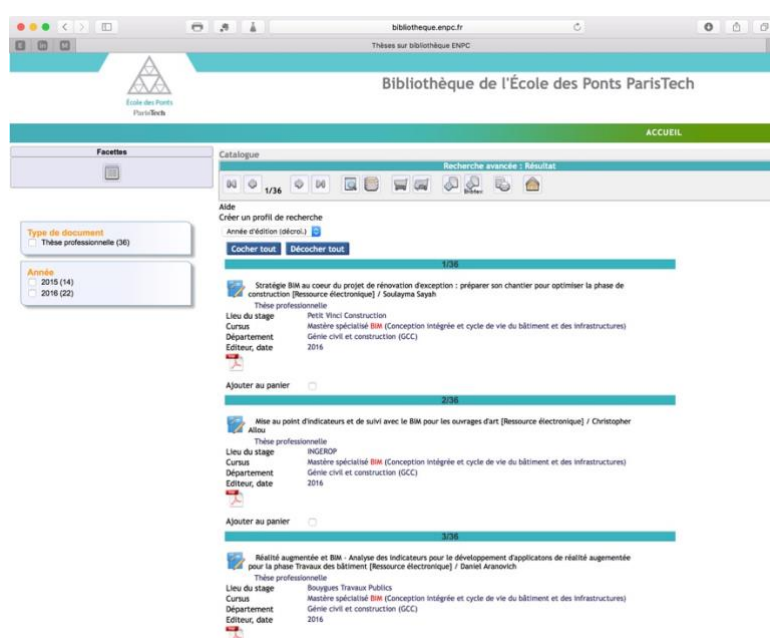
Les thèses professionnelles et autres travaux de diplômes sont accessibles, sauf confidentialité requise, à travers le site web de la bibliothèque de l'Ecole des Ponts, mais d'accès réservé aux membres de la communauté de l'Ecole sur son réseau interne.

Nous avons souhaité dépasser ce cadre concernant les travaux du MS BIM afin de positionner la formation comme un contributeur actif, et de premier ordre, à l'émergence du BIM en France et dans les pays de nos candidats et partenaires.

De nombreuses publications nationales et internationales sont disponibles en librairie et sur le net, émanant d'acteurs professionnels ou d'organisations publics comme privés.

Par leur nombre, la diversité des auteurs et des sujets traités, la portée aussi bien théorique et prospective que pratique et opérationnelle, les thèses professionnelles du MS BIM complètent utilement ces écrits et ont vocation à devenir, elles aussi, des documents de référence.

Un projet de blog du MS BIM est à l'étude, destiné à servir à la fois d'outil pédagogique pour la promotion en cours, et de vecteur de communication et diffusion vers la communauté du MS BIM et le monde professionnel au-delà.



http://bibliotheque.enpc.fr/exl-php/cursus/enpc_recherche_avancee_tde_facettes/BIM

A propos de la confidentialité

A l'issue de chaque soutenance, il est demandé au candidat et à son entreprise si la thèse revêt un caractère de confidentialité, qui peut être illimité ou limité dans le temps à 2 ans ou 5 ans. Il est alors nécessaire d'« indiquer les raisons pour lesquelles l'entreprise/l'organisme souhaite rendre ce document confidentiel (secrets de fabrication, secrets d'affaires, secrets liés aux matières personnelles ou confidentielles) ».

Certaines thèses peuvent en effet contenir des informations relatives à des projets en cours, à des recherches pouvant faire l'objet de brevets, à des stratégies commerciales, à des modalités techniques innovantes... et l'on comprend que les auteurs, pour lesquels le MS BIM constitue un investissement conséquent (en disponibilité, énergie, finances...) souhaitent préserver un possible acquis qui constituera un avantage stratégique par rapport à leur environnement concurrentiel.

Ces demandes de confidentialité sont peu nombreuses, et naturellement respectées.

Il est cependant paradoxal que les auteurs de certains travaux poussés et innovants, sources de prestations originales ou de création de nouvelles structures sont enclins au partage avec leurs pairs, alors que souvent les travaux confidentiels ne contiennent pas réellement de données sensibles ou originales à nos yeux.

Il en est de ces thèses comme des projets qui mettent en œuvre le BIM : la collaboration est une vertu couramment encouragée, mais pas toujours pratiquée.

Quelques exemples de sujets de thèses

La plaquette de présentation du MS BIM présente quelques titres de thèses des candidats de la première promotion 2014 :

- LIMOUZI Stanislas - Mise en place d'un démonstrateur pour transformer une copropriété en un Bâtiment Numérique, Eco-Responsable et Interopérable
- LANNOY Rémy - Indicateurs de Performance dans un processus de Revue de Projet BIM
- GRIGNON Alexandre - Intégrer le processus BIM dans la conception architecturale.
- APPÉRÉ François - l'implémentation du BIM dans le domaine des ouvrages d'art en phase de conception, quelles limitations et perspectives ?

Voici quelques sujets des thèses présentées fin 2017 (échantillon non trié, représentatif de la réalité des soutenances de thèse à un instant donné) :

- BOMPARD Alexandre - Comment mettre en place une démarche progressive BIM en Exploitation Maintenance ?
- LOFFREDO Alessio - La Direction de Travaux, le Visa et le BIM
- BILLON Laurent - La part collaborative dans le BIM : les apports des théories de l'information dans la recherche d'outils de mesures
- SMILJANOVSKA Aleksandra - Déploiement du BIM en Promotion Immobilière
- HUBERMAN David - Vers une nouvelle génération de cahier des charges
- DOURNAUX Edouard - Quels sont les apports effectifs du BIM pour la synthèse technique ? Transition de la synthèse classique à la synthèse BIM

- Yann AUGER - La maquette unique et la responsabilité de chacun
- SAGUÉ Valentin - Le BIM peut-il s'appliquer sur tout type de projet ? Contexte de promotion immobilière privée (secteur logements)
- GIL URRUTIA José Ignacio - Le BIM, prélude de l'ingénierie de la construction de demain
- LECHAUVE Sylvie - Usages BIM et Métiers du Bois
- MERCIER Julien - La transition numérique entre les informations patrimoniales disponibles et celles issues d'un processus BIM est-elle possible ?
- GODO Elodie - Réalité virtuelle et BIM, Une histoire de la représentation tridimensionnelle
- FERRARA Nicolas - Le BIM au profit de la gestion et du partage des connaissances
- SAIDI Hatem - Initier le BIM dans une TPE d'architecture
- DUMAS Eric - Le BIM, le Contrôleur Technique et les Plateformes Collaboratives : L'avènement des plateformes collaboratives et de l'ingénierie concourante dans le monde du bâtiment permettra-t-il l'intégration réelle du contrôleur technique ?"

Voici les thèses sélectionnées pour faire l'objet d'une présentation lors de la conférence à BIMworld en avril 2019 (thèse récentes, ayant obtenu une note de 16 ou 17, soit « excellent travail, original », en grande partie proposées par des mastériens salariés d'entreprises partenaires du MS BIM)

CONFERENCE : Enjeux et perspectives du BIM à travers les thèses du Mastère spécialisé BIM de l'École des Ponts ParisTech et de l'ESTP, sélectionnées par le comité des partenaires entreprises présidé par EPAMARNE

- Animée par Olivier Celnik, directeur du MS BIM, et Jean-Baptiste Rey, Directeur-Général Adjoint EPAMARNE, président du comité d'orientation des entreprises partenaires du MS BIM

Thèses proposées par les partenaires du MS (par ordre alphabétique) :

- **AE75**, « La maîtrise de l'estimation d'un projet en phase de conception », présentée par Guéric MOREAU DE BELLAING
- **Alpes Topo**, « Le géomètre, facilitateur dans une démarche BIM, En quête de clarifications », présentée par Tristan AURIGNY
- **Bouygues Construction**, « BIM et outils numériques, nouveaux leviers de l'ingénierie commerciale pour l'Entreprise Générale », présentée par Louis-Nicolas PINTON
- **BTP Consultants**, « L'utilisation du BIM chez les bailleurs sociaux: état des lieux des pratiques actuelles en phase exploitation », présentée par Rachid LARAKI EL HOUSSAINI
- **Builder & Partners**, « Quel processus et environnement de données à adopter dans le cadre d'une exploitation/maintenance BIM ? », présentée par Pierre HAUSHERR
- **EGIS**, « Comment définir un ouvrage d'art avec les IFC Bridge », présentée par Arnold LEDAN
- **EpaMarne**, « Complémentarité BIM et SIG pour la production de maquettes numériques à l'échelle urbaine », présentée par Julien BERRON
- *(confirmation en cours)* **SOCOTEC**, « BIM et automatisation du procédé de vérification réglementaire des projets de construction, destruction créatrice? Comment garder le contrôle à l'aide d'un agent conversationnel intelligent (Chatbot)? », présentée par Sabine CORREIA

Thèses proposées par des entreprises non partenaires du MS :

- **ARCADIS**, « Développement des outils et processus BIM au sein des projets VRD et d'aménagement urbain », présentée par Nils KALFA
- **Mairie de Lyon**, « Le BIM pour la gestion-maintenance du paysage fertile », présentée par Hichem JEMAIEL (aujourd'hui intégré à l'agence ABA Workshop)

Les contenus des thèses comme critères de recherche

L'analyse d'un nombre important de thèses a permis de faire ressortir les points suivants, qui seront autant de critères d'indexation et de tri sur les outils de diffusion :

- L'auteur : son profil, sa profession, son activité professionnelle, son expérience, sa position ;
- La promotion : la promotion des candidats, depuis la première 2014-2015, permet de contextualiser l'expérience, le milieu ambiant : certains sujets innovants à leur époque sont désormais banalisés, et les thèses qui en parlent deviennent un socle de référence pour les nouvelles ;
- Le sujet : nous nous efforçons désormais qu'il reflète une problématique, et soit donc signe d'une recherche et d'hypothèse validées ou pas, et non simplement une description d'expériences ou un état de l'art ;
- L'entreprise, dont le candidat est salarié, dirigeant, stagiaire : selon les cas, l'entreprise est un lieu d'expérience et d'observation pour le candidat, ou bien le commanditaire actif et volontaire d'un travail qui sera utilisé en interne pour diffuser et partager des connaissances, et définir des stratégies commerciales, techniques, organisationnelles.
 - Certaines thèses peuvent être déclarées confidentielles par les entreprises, si elles contiennent des informations, descriptions, innovations sensibles pour elle. Nous encourageons cependant les entreprises et candidats à diffuser les travaux, ou à défaut à produire une version allégée diffusable, afin de partager la réflexion, et mettre en avant les auteurs et commanditaires.
- Tuteur entreprise : dirigeant, supérieur, collègue : il encadre le travail, et est un interlocuteur de référence pour le candidat, qu'il guide par ses conseils s'il est compétent, par ses attentes s'il est moins sachant ;
- Tuteur pédagogique : membre de l'équipe pédagogique du MSBIM, ou personnalité qualifiée validée par la direction du MS, qui accompagne le candidat pendant la rédaction de sa thèse, et est garant aussi bien du fond que de la forme.
- Date de soutenance, composition du jury, note, observations du jury : données à usage privé, non communiquées. Le jury peut souhaiter qu'une thèse soit diffusée, ou au contraire en restreindre la diffusion, si le niveau de qualité n'est pas à la hauteur de ses exigences ;
- Résumé : chaque thèse commence par un résumé d'environ une page, en français et en anglais, qui donne les objectifs, les principaux développements, les conclusions ;
 - Le résumé pourra être le point d'entrée pour la lecture de la thèse, permettant au lecteur de vérifier qu'elle correspond à ses centres d'intérêt ;
- Mots-clé : chaque thèse est décrite par une série de mot-clés ;
 - Ceux-ci seront aussi utilisés comme tags sur le blog, et associés à toute publication (articles, portraits, etc...), ainsi les thématiques traitées dans une thèse, et décrites par un mot-clé, deviendront des entrées pour rechercher toutes les informations liées à ce sujet ;
- Bibliographie : selon les indications données par les responsables pédagogiques de l'Ecole, les bibliographies sont dissociées en :
 - Bibliographie imprimée (livres, publications papier)
 - Bibliographie en ligne, ouvrages numériques
 - Rapports imprimés (distingués donc des publications)

- Travaux universitaires (autres thèses et travaux assimilés)
- Supports de cours (diffusés lors des enseignements)
- Site web de référence
 - Nous attirons l'attention des mastériens sur le soin à porter à leur bibliographie, à son choix et à sa présentation correcte, point de départ de leur travail de réflexion et rédaction. Nous leur apprenons notamment à restituer correctement les citations, sans plagiat ni paraphrase.
 - Comme pour les mot-clés, les références bibliographiques s'agrègent de thèse en thèse, se recoupent et se complètent. Au delà des thèses elles-mêmes, la bibliographie donne des indications de lectures utiles. Les références données par les enseignants lors des cours complètent celles identifiées par les mastériens. Une recherche sur un ouvrage permettra de retrouver les thèses qui le citent, ainsi que les notes de lecture associées.
- Annexes : compléments à la thèse ;
- Citations et figures : il semble intéressant de recenser les citations et leurs sources, ainsi que les figures, souvent récurrentes d'une thèse à l'autre, afin d'en établir la provenance initiale, la légende et les crédits corrects, constituer une banque d'images de référence à utiliser, ou au contraire à éviter car déjà trop vues (la courbe de Mc Leamy et ses variantes...)
- Lexique, glossaire : plusieurs thèses proposent un glossaire, aussi bien de termes techniques métier (APS, APD, EXE que de termes BIM).
 - Un glossaire général unifié est également l'une des rubriques de base du blog, aussi complet que possible, alimenté notamment par les thèses, ou servant de référence pour les prochaines

Comment rédiger une thèse du MS BIM

Exemples de consignes données aux mastériens, message de rappel envoyé début 2018 aux mastériens en vue du prochain dépôt de leur sujet de thèse :

Début du message réexpédié :

De: Olivier CELNIK ENPC <olivier.celnik@enpc.fr>

Objet: [bim2017] à propos des thèses du MS BIM

Date: 16 février 2018 à 00:17:37 UTC+1

À: bim2017@liste.enpc.fr

Répondre à: bim2017@liste.enpc.fr

bonjour à tous

j'ai eu l'occasion de converser ou clavarder avec nombre d'entre vous au sujet des thèses ces derniers jours, notamment vendredi dernier

il me semble utile de redonner à tous, en les complétant, les réponses et conseils échangés alors

PLATEFORME

dépôt des sujets, supports et informations utiles :

<https://bim.enpc.fr/course/view.php?id=111§ion=5>

nous réfléchissons à créer un module spécifique thèse, regroupant toutes les infos et les outils de suivi

PLANNING

13 décembre 2017 : journée d'initialisation, avec les interventions de Jacques Grandjean et Florence Rieu, et premiers échanges

reportez vous aux supports sur la plateforme :

- Jacques Grandjean - Problématiser.pptx

- Florence Rieu - pour une recherche d'information efficace.pdf

23 février 2018 : date limite de remise du sujet de thèse, sur la plateforme Formations BIM

- un document word ou pdf, le titre de la thèse, quelques lignes de développement sous une forme libre

- le titre n'est pas forcément définitif, le thème peut encore évoluer en fonction du développement de la thèse, mais au moins un axe est donné par le mastérien et validé ensuite par le directeur du MS BIM

- indiquer les tuteurs pédagogiques et entreprise s'ils sont connus, sinon les communiquer ultérieurement (ils peuvent aussi parfois changer en cours de travail, après information et validation de notre part)

le cas échéant, indiquer des tuteurs pressentis, s'ils n'ont pas encore confirmé : là aussi, nous pourrions vous guider si nécessaire (lire ci-dessous)

- ce rendu n'est pas un exercice noté, ce n'est pas un engagement ferme et définitif sur le sujet, c'est un point d'étape évolutif mais incontournable

16 mai 2018 : présentation des sujets de thèse en 180 secondes

septembre à décembre 2018 : soutenances (présentation orale du travail, lors d'une séance d'une heure au total)

- la rédaction d'une thèse professionnelle est un travail conséquent, pour lequel vous devez vous mobiliser et vous préparer dès maintenant,

- même si pour la plupart l'essentiel de l'effort sera fait après les derniers enseignements du MS en juillet, il faut commencer maintenant pour être prêt ensuite (vous définissez le menu, vous commencez à faire les courses, en vue de vous mettre aux fourneaux plus tard)

(l'expérience prouve qu'il faut rédiger la thèse dans la continuité de la formation : certains prédécesseurs ont pensé faire un break, se reposer ou rattraper l'activité professionnelle mise en suspend, et trouver ensuite le temps de se consacrer à la thèse, mais ce temps plus propice ne se présente en fait jamais !)

TUTEURS

vous devez être encadrés par deux tuteurs :

- le tuteur pédagogique, qui est garant du bon déroulement de votre travail et de sa conclusion

ce tuteur pédagogique est à priori membre de l'équipe pédagogique du MS BIM (enseignant, intervenant), mais à défaut le directeur du MS peut accepter que des personnalités extérieures compétentes sur le sujet, et ayant une expérience pédagogique, prennent ce rôle

- comme précisé dans le "Guide de la thèse professionnelle BIM 2016-2017 », le tuteur pédagogique est rémunéré pour son travail, à hauteur de 8 heures d'accompagnement minimum : il faut que le tuteur valide le sujet, la problématique, le plan de la thèse et fasse des relectures critiques par échanges avec le candidat en rendez-vous et/ou mails et distance. Il doit aussi assister à la soutenance ou donner son avis par écrit

il prend un engagement envers vous et envers l'Ecole, et il est défrayé pour cela

un tuteur pédagogique ne peut encadrer plus de 5 candidats par promotion

n'hésitez pas à solliciter à tous les membres de l'équipe, car si chacun pense que les principaux responsables sont déjà réservés, ils n'auront finalement personne à encadrer !

Je joins le "Guide de la thèse professionnelle BIM 2016-2017 », destiné aux tuteurs pédagogiques, mais qui décrit bien le contexte et les enjeux, et vous sera utile, non seulement pour informer les tuteurs pressentis, mais également au delà.

nous avons comme objectif d'en réaliser une nouvelle version plus complète

- le tuteur entreprise, qui est généralement un supérieur hiérarchique ou dirigeant de l'entreprise, est votre interlocuteur, ou parfois votre commanditaire, sur le sujet de la thèse et sur sa direction

les candidats indépendants, ou qui financent la formation à titre individuel, n'ont pas l'obligation d'avoir un tuteur entreprise (mais vous pouvez avoir un conseiller scientifique)

ces deux tuteurs sont présents lors de la soutenance, et prennent part à l'attribution de la note de la thèse

l'équipe pédagogique pourra vous aider à identifier les tuteurs

- au-delà de ces rôles, vous pouvez utilement contacter plusieurs interlocuteurs, qui peuvent vous suivre et être présents lors de la soutenance, sans avoir néanmoins un rôle officiel ni part à la décision finale

on peut aussi dire que

- le tuteur pédagogique doit être compétent et intéressé par le sujet, doit pouvoir guider le candidat, mais il est aussi garant de la forme de la thèse : respect des consignes académique (contenu, présentation, bibliographie, style...) et du déroulement du travail (planning respecté, rédactions intermédiaires...)

- le tuteur entreprise est avant tout concerné par le fond du sujet, qu'il a commandé ou qui le concerne

LA THESE PROFESSIONNELLE

c'est un document rédigé en français, de 50 à 70 pages environ (hors bibliographie détaillée et annexes)

ce n'est pas un mémoire de stage, simplement descriptif, ni un état des lieux, ni une succession d'extraits de bibliographies

c'est un travail original de réflexion et de recherche

mais ce n'est pas non plus une thèse universitaire de doctorat !

sans paraphraser ce qui a déjà été dit, on peut rappeler qu'une thèse est le développement d'une problématique :

- une question dont le travail explore les pistes de réponse, et dont la réponse n'est pas connue à l'avance, un travail de recherche et de réflexion et non un état de l'art, avec une certaine originalité

- la problématique est donc généralement exprimée sous forme d'une question ou d'une hypothèse, dont la réponse finale peut être positive ou négative (car même alors, on aura contribué à formaliser des connaissances sur un sujet)

voici un résumé proposé par Christophe Castaing :

- o Une table des matières très claire, avec deux niveaux de détails, pas davantage. On doit comprendre la thèse uniquement avec cela,
- o La problématique posée. On doit comprendre la question et l'intérêt de la question.
- o La bibliographie et l'état de l'art qui permettent de comprendre la valeur ajoutée.

même si son sujet est proposé par votre entreprise, la thèse est un travail personnel, qui doit vous motiver et vous être utile, ce sont les meilleures garanties pour une production de qualité et sans pénibilité
nous pensons également que cette thèse professionnelle constitue votre meilleure carte de visite dans le monde professionnel du BIM, et pourra générer des actions de communication ultérieures (masterclass du MS BIM, mise en avant sur le futur blog, auprès de nos partenaires tels Mediaconstruct, etc...)

en discutant avec certains, il a parfois été évoqué des sujets trop restreints ne pouvant donner lieu à un développement suffisant, ou à l'inverse des sujets trop vastes, nécessitant un temps long et de nombreuses pages pour être traité correctement
ayez donc en tête les deux contraintes données ci-dessus, qui déterminent le cadre de l'exercice et dimensionnent vos ambitions
: produire un travail de 50 à 70 pages à présenter d'ici la fin de l'année 2018, ni plus ni moins
si vous êtes particulièrement motivé par un sujet, souhaitez en donner une analyse exhaustive, ou que vous suivez un projet de construction qui dure dans le temps, il vous sera toujours possible d'écrire un complément à votre thèse initiale, que nous serons heureux de lui associer ensuite !

quelques exemples de thèses précédentes

nous travaillons à vous donner accès aux maximum de thèses (celles non confidentielles, et correspondant à notre niveau d'exigence)

certaines sont déjà disponibles ici (informations fournies par Florence RIEU)

Pour consulter les mémoires des MS BIM librement accessibles sur le portail :

- bibliotheque.enpc.fr
 - cadre en haut à gauche : "travaux d'élèves & cours"
 - cadre en haut à gauche : "Rechercher" Catalogue des travaux d'élèves
 - cliquer sur l'icone en face de cursus et sélectionner : "Mastère spécialisé BIM (Conception intégrée et cycle de vie du bâtiment et des infrastructures)"
 - Cliquer sur la loupe pour rechercher
- Seuls les MS de 2015 nous ont été déposés.

Il y en a aussi sur la plate-forme dans le module Communs - Communauté MS BIM (onglet thèses professionnelles en bas de page) : <https://bim.enpc.fr/course/view.php?id=105§ion=4>

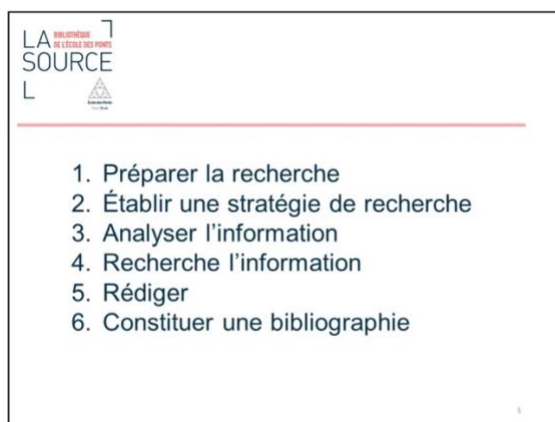
toute l'équipe pédagogique est à votre disposition pour vous guider sur le chemin de la thèse

bonne fin de semaine
Olivier

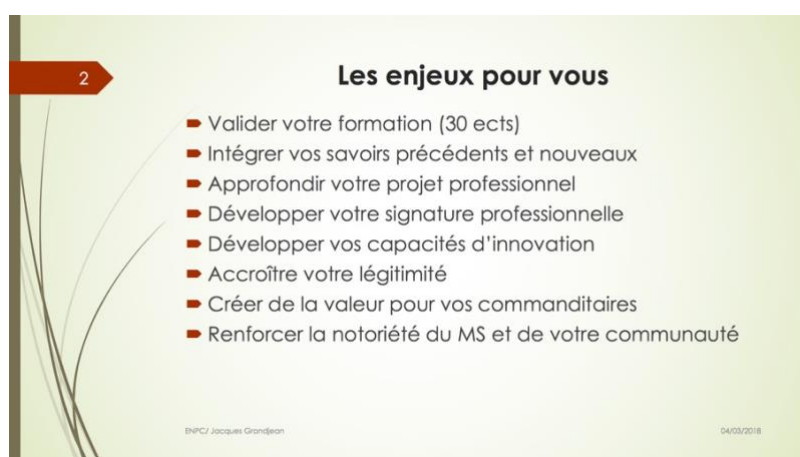
olivier**CELNIK**
architecte DPLG, enseignant
mob 06 14 18 20 25

.....
Directeur du Mastère Spécialisé BIM, Ecole des Ponts ParisTech - ESTP
<http://mastere-bim.enpc.fr>

Extraits des cours d'introduction à la thèse donnés en décembre 2017 pour initier le sujet, documents complets diffusés aux mastériens via la Plateforme des formations BIM



Florence RIEU, responsable du pôle ressources pédagogiques : « Pour une recherche d'information efficace »



Jacques GRANDJEAN, responsable du pôle MS à l'Ecole des Ponts : « thèse professionnelle, problématiser »

Mastère Spécialisé® BIM Conception intégrée et cycle de vie du bâtiment et des infrastructures

<http://mastere-bim.enpc.fr>

La communauté du MS BIM

Les thèses professionnelles sont le résultat de l'interaction de l'ensemble des membres de la communauté du MS BIM, ce qui représente à ce jour (mai 2018) :

- 325 mastériens
 - promo 2014 = 36, 2015 = 72, 2016 = 65, 2017 = 77, 2018 = 76
- Plus de 50 enseignants et intervenants
 - 15 modules et leurs coordinateurs
 - des enseignants réguliers et des intervenants et témoins ponctuel
- Des conférenciers pour les cartes blanches du soir (une vingtaine par an)
- Une équipe pédagogique et administrative
- Des tuteurs pédagogiques externes pour certaines thèses
- Des établissements d'enseignement et formation, partenaires pédagogiques
- Des entreprises partenaire-entreprise (une douzaine), partenaires technologique (sociétés de service et éditeurs de logiciels)

Partenaires institutionnels et professionnels

Le Mastère Spécialisé®, co-accrédité par l'École des Ponts ParisTech et l'ESTP Paris, bénéficie du soutien de nombreux partenaires institutionnels : Médiaconstruct, Fédération des syndicats des métiers de la prestation intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique (CINOV), Union Nationale des Syndicats Français d'Architectes (UNSA), Union nationale des Économistes de la construction (UNTEC), SYNTEC Ingénierie, Entreprises Générales de France BTP (EGF-BTP).

Partenaires académiques

Arts et Métiers ParisTech, École Nationale des Sciences Géographiques, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, écoles d'Architecture de Marseille, Toulouse et Paris Val-de-Seine et ECOTEC.

Partenaires entreprises

Groupe ADP, AE75, ALPES TOPO, A/NM/A, ARTELIA, BOUYGUES CONSTRUCTION, BTP Consultants, Builders & Partners, EGIS, EPAMARNE, INGEROP, SAINT-GOBAIN, SOCOTEC, VINCI CONSTRUCTION FRANCE

Plateforme des formations BIM

La plateforme des formations BIM est un projet pluripartenaires soutenu par l'Université Numérique Ingénierie et Technologie dans le cadre de l'IDEFI uTOP.

<https://bim.enpc.fr>

Les Génies de la Construction et l'extension du Groupe Scolaire du Coteau

Solenne CODET ¹, José HAUTECOEUR , Alexandre PIERRE³

¹ Enseignante, Département GCCD, IUT de Chambéry, Université Savoie Mont-Blanc

¹ Représentante AUGC au COPIL des Génies de la Construction

² Enseignant, Département Génie Civil, Université de Cergy Pontoise

³ Enseignant-Chercheur, Département Génie Civil, Université de Cergy Pontoise

Résumé

En 2018, pour sa 14^{ième} édition, le concours Batissiel, concours permettant aux collèges et lycées de découvrir le monde du BTP s'est étendu à l'enseignement supérieur pour devenir Batissiel Plus. Dans ce cadre, un groupe d'étudiants du département Génie Civil de l'Université de Cergy Pontoise a travaillé sur l'extension du Groupe Scolaire du Coteau, à Cachan, en utilisant le processus BIM, imposé par l'équipe enseignante pour remporter le concours dans cette nouvelle catégorie.

En 2019, pour sa 15^{ième} édition, Batissiel change de nouveau de nom pour devenir Les Génies de la Construction. Les inscriptions sont terminées depuis le 31 janvier; la finale aura lieu à Paris le 4 juin 2019.

Mots clefs

BIM, collaboratif, concours, Batissiel, Génies de la Construction, maîtrise d'œuvre.

1. Les Génies de la Construction

Initié en 2004, le concours Batissiel est hébergé par le Ministère de l'Education Nationale, et plus précisément par l'Inspection Générale. A l'origine, son objectif était de faire découvrir les différentes facettes du monde du BTP aux collégiens, via les enseignements de technologie, les lycéens, en formation STI2D, SSI ou professionnelle. Ainsi, avec les réformes successives des programmes pédagogiques en 2008 et 2014, le concours est progressivement monté en puissance, les enseignants intégrant la participation de leurs équipes dans leurs pratiques pédagogiques.

De plus, via le comité de pilotage (COPIL) du concours, l'organisation s'appuie sur le monde professionnel : la Fondation École Française du Béton, la Fédération Française du Bâtiment, la fondation SMA Excellence, le CCCA-BTP et la Fédération Nationale des Tavaux Publics. [20]

1.1 Batissiel Plus – Edition 2018

En 2018, pour sa 14^{ème} édition, le concours Batissiel devient Batissiel Plus en intégrant une nouvelle catégorie : la catégorie supérieure. Le concours s'ouvre alors aux BTS, DUT, Université, Ecoles d'ingénieurs et Ecoles d'architecture. Ce concours devient alors le seul en France à couvrir un large éventail de formations, du Bac-5 au Bac+5 dans le domaine du Génie Civil

Pour cette nouvelle mouture, 31 académies, 163 établissements scolaires ou supérieurs et 3500 élèves ou étudiants ont participé. [20]

La finale nationale avait lieu au Parlement Européen, à Strasbourg, donnant une vision européenne à cette compétition. Dans la catégorie supérieure, sur les 17 projets inscrits, les 3 projets finalistes sélectionnés par un jury d'enseignants et de professionnels retraçaient bien le large éventail de provenance des candidats :

En 3^{ème} position, les étudiants de licence à l'ENS de Paris Saclay présentait leur étude effectuée dans le cadre de leurs projets SAPHIRE sur la ventilation naturelle des locaux du nouveau campus en cours de construction sur le plateau de Saclay [21]

En 2nde position, les étudiants du BTS Fluides Energies Domotique du lycée Charles de Gaulle à Muret étaient récompensés par la modélisation et l'exploitation énergétique d'une maison d'architecte en collaboration avec le cabinet d'architecture. [22]

Enfin, en 1^{ère} position, les étudiants de l'Université de Cergy Pontoise présentaient leur projet d'extension du Groupe Scolaire du Coteau, à Cachan, résultat de leurs diverses réflexions tant en qualité de maître d'œuvre qu'ingénieur. [23]

Un prix spécial de la créativité a été créé pour le projet des BTS du lycée Le Corbusier à Illkirch Graffenstaden et leurs dispositifs à l'incitation au recyclage en correspondance avec un parking souterrain éco-responsable.

1.2 Edition 2019

Pour l'édition 2019, le concours Batissiel devient Les Génies de la Construction. Il intègre dans son comité de pilotage de nouveaux membres que sont les associations d'enseignants : l'ASCO-TP, l'ASSETEC, l'APMBTP et l'AUGC.

Toujours basé sur le thème des « Territoires intelligents, durables et connectés », il monte en puissance dans la catégorie Supérieur avec 25 équipes inscrites, mais perd de son influence dans l'enseignement secondaire.

Autre élément remarquable de cette nouvelle édition, certaines écoles mettent en place un concours interne afin de présenter au concours national leur meilleure équipe.

Le jury de cette année sera composé d'enseignants du 2nd degré, du monde universitaire ainsi que de professionnels du BTP. Ce jury examinera les rapports, posters et vidéos fournis par chaque équipe ainsi que la maquette virtuelle également demandée.

La finale nationale des équipes du second degré sélectionnées par des jurys académiques et interacadémiques et la présentation des lauréats dans la catégorie supérieure se feront à Paris le 04 juin 2019.

2. La problématique BIM au sein de l'Université de Cergy Pontoise

Depuis 2012, le département de Génie Civil s'intéressait au BIM mais celui-ci restait cantonné à des initiatives individuelles, dans le cadre des projets de fin d'études des étudiants en 2nde année de Master Génie Civil. Depuis 2015, il était enseigné au niveau 1^{ère} année de Master et en Licence Pro Bureau d'Etudes et Conception Technique. Mais le BIM restait enseigné comme permettant la réalisation de maquettes numériques, sans exploitation des données qu'elles renferment ni la mise en œuvre de processus BIM.

D'un autre côté, l'ouverture de la formation de Coursus de Master en Ingénierie (CMI) implique la nécessité de faire travailler des étudiants de 2nde année de licence sur des projets de Génie Civil.

Enfin l'équipe pédagogique souhaitait faire communiquer les étudiants de licence et de master en dehors du bureau des étudiants, afin que les plus jeunes apprennent des plus anciens, et que ce contact leur soit une source de motivation pour la continuation de leurs études.

Le BIM avec son mode collaboratif répond très bien à cette problématique.

La participation à un concours apporte une source de motivation complémentaire, en particulier pour les étudiants en Master 2 qui se trouvent confrontés à des étudiants d'autres écoles. Déjà en 2016, les étudiants de Master 2 avaient obtenu une 2nde place au concours Défi BIM Innovation. [24]. Dans le cadre du concours Batissiel Plus, les étudiants de Master 2 doivent travailler avec des étudiants de 2nde et 3^{ième} année de licence du parcours CMI et réaliser la maquette en mode collaboratif de niveau 3 (BIM 3). [25]

Le concours Batissiel, par son cahier des charges assez ouvert, présentait le support idéal pour répondre aux différentes problématiques pédagogiques :

- Comment mettre en place puis améliorer le travail collaboratif entre différents niveaux de formations et de compétences ?
- Quels sont les outils informatiques et pédagogiques les mieux adaptés à ce type de travail collaboratif ?
- Comment intégrer ce type de projet dans la formation puis l'évaluation d'étudiants de niveaux différents ?
- Quel bilan peut être établi pour les enseignants ?

3. Extension du Groupe Scolaire du Coteau

3.1 Présentation du projet

Le groupe scolaire du Coteau est un établissement du premier degré de la ville de Cachan construit en 1939 dans un quartier résidentiel pavillonnaire. Il est soumis à l'augmentation progressive de ses effectifs qui rendent ses locaux trop étroits. De plus, du fait de sa configuration géographique sur les hauteurs de la ville et dans une rue en forte pente cet établissement n'est pas accessible aux personnes à mobilité réduite.

Ainsi le projet d'extension vise, d'après le programme défini par la mairie de Cachan, à :

- Ajouter des salles de classes supplémentaires en maternelle (2) et en élémentaire (3)
- Créer un gymnase dont est actuellement dépourvu le groupe scolaire ainsi qu'une salle de motricité pour les maternelles
- Mettre en place une salle de danse qui devra aussi bien être accessible aux usagers de l'école qu'aux habitants en dehors des heures scolaires
- Restructurer les cours de façon à avoir un préau couvert et cloisonnable
- Rendre accessible à plus de 90% l'ensemble du groupe scolaire

A ce cahier des charges, l'équipe pédagogique a intégré des objectifs complémentaires, les étudiants n'étant pas soumis aux contraintes budgétaires :

- Rendre l'extension le plus éco-responsable possible
- Etudier l'accessibilité et la circulation aux abords du groupe scolaire

3.2 Projet d'extension

Dans un premier temps, les étudiants ont pris le rôle du maître d'œuvre afin de concevoir un bâtiment qui réponde le mieux au cahier des charges de la mairie. Dans leur conception, ils ont pris en compte :

- La gestion des flux à l'intérieur du bâtiment afin de séparer les maternelles des élémentaires,
- L'accessibilité aux personnes à mobilité réduite,
- L'intégration dans son environnement urbain avec l'étude du PLU correspondant à la zone incriminée.,
- La liaison entre l'ancien et le nouveau bâtiment.

Ensuite, en qualité d'ingénieurs, les étudiants se sont intéressés au mode de réalisation de l'extension. La déclivité du terrain, l'accessibilité réduite du terrain, la proximité immédiate de l'école en activité nécessitant la réduction des nuisances liées au chantier, ont conduit à retenir une solution de structure poteau-poutre préfabriquée, avec plancher à dalles alvéolaires.



Figure 13-1 - Groupe scolaire existant dans son environnement résidentiel

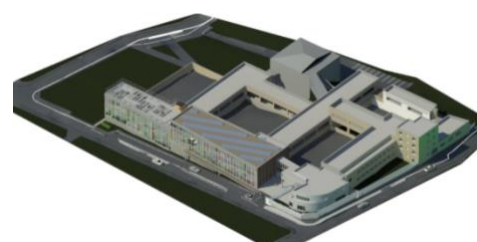


Figure 13-2 - Maquette de l'existant et son extension

Sur le plan environnemental, le groupe scolaire dispose d'un toit entièrement équipé de panneaux photovoltaïques pouvant être gérés par la coopérative solaire de la ville (les établissements publics n'ayant pas le droit de revendre leur électricité), d'un réservoir d'eau de pluie dont la capacité est suffisante pour les chasses d'eau de l'école, d'un jardin pédagogique en toiture avec sa réserve d'eau pour l'arrosage, de murs borgnes végétalisés. Le bâtiment dispose d'une large façade orientée sud équipée de vitrage pariéto-dynamique coloré pour maximiser les apports solaires.

La suppression des places de stationnement le long de l'école, dans le cadre du plan Vigipirate a permis de dégager les espaces de circulation. Pour des raisons de sécurité, la rue étroite a été mise en sens unique, les espaces libérés favorisant la création d'une desserte de dépose minute et d'une place de stationnement PMR.

3.3 Apports pédagogiques

Jusqu'à présent, jamais le BIM collaboratif de niveau 3 n'avait été tenté au sein de l'Université de Cergy Pontoise. Après avoir choisi le cloud qui a hébergé la maquette, il a fallu mettre en place des procédures pour ne pas corrompre le fichier central ni bloquer les autres étudiants travaillant sur le fichier, ni modifier les éléments précédemment modélisés. Si le démarrage du BIM 3 a été laborieux, il a été pour tous, aussi bien étudiants qu'équipe pédagogique, une forte source d'enseignements.

Les étudiants de Master 2, tantôt maîtres d'œuvre, ingénieurs, BIM manager ont dû diriger une équipe d'étudiants novices en Génie Civil et ainsi gérer les différentes capacités.

Ils ont aussi dû intégrer des connaissances de Revit qu'ils n'avaient pas eu l'occasion de voir en cours, s'approprier des logiciels de modélisation comme SketchUp, des logiciels d'exploitation de maquettes numériques comme 3DS Max pour les rendus, ou Navisworks pour les timelines.

Les étudiants de licence, au contact de leurs aînés, ont pu se confronter aux différents métiers du Génie Civil, approfondir leurs connaissances d'Autocad pour la modélisation des points topographiques et découvrir Revit lors de la modélisation du site.

Pour les enseignants, l'obtention d'une maquette complète permettra d'imaginer d'autres applications pédagogiques comme la rotation de coffrage et le BIM 4D ou encore le dimensionnement de structure par exportation de la maquette vers des logiciels dédiés.

4. Remerciements

Le projet d'Extension du Groupe du Coteau n'aurait jamais pu avoir lieu sans la contribution des étudiants qui ont choisi de travailler ensemble sur ce sujet :

- Fjola Boyce, Sherazad Fernana, James Ivoula (L2 CMI)
- Sara El Ghaoui, Valentine Morvan (L3 CMI GC)
- Mathilde Hans, Rafah Hawa Alais, Florian Hubert (M2 GC)

Bibliographie

- [1] PTNB, «<http://www.batiment-numerique.fr/uploads/DOC/Barom%C3%A8tre/PTNB%20-%20Barometre%203%20-%20Rapport%20detaille.pdf>,» 2018. [En ligne].
- [2] A. Ghaffarianhoseini, D. Doan, T. Zhang, N. Naismith et J. Tookey, A BIM Readiness & Implementation Strategy for SME Construction Companies, 2016.
- [3] N. EINM1600207D, *Décret n° 2016-360 du 25 mars 2016 relatif aux marchés publics - Version consolidée au 28 décembre 2017*, 2017.
- [4] F. Khosrowshahi et Y. Arayici, Roadmap for implementation of BIM in the UK 19(6), 610–635, 2012.
- [5] J. Harty, T. Kouider et G. Paterson, Challenges, risks and benefits for SMEs, 2016.
- [6] C. Babic et D. Rebolj, «Culture change in construction industry: from 2D toward,» *Journal of Information*, p. 86, 2016.
- [7] J. Daniel, «Making Sense of MOOCs : Musings in a Maze of Myth, Paradox and Possibility,» *Journal of Interactive Media in Education (JIME)*, 2012.
- [8] LesDigiteurs, «<https://mooc-francophone.com/cours/la-transformation-digitale-des-tpe-pme/>,» 2017. [En ligne].
- [9] Asder1, «<https://mooc-francophone.com/cours/mooc-batiment-performant-et-ecologique/>,» 2016. [En ligne].
- [10] UNTEC, «<https://mooc-francophone.com/cours/economie-de-la-construction-prescrire-estimer-a-lheure-du-bim/>,» 2017. [En ligne].
- [11] Asder2, «<https://mooc-francophone.com/cours/renovation-performante-les-cles-de-la-rehabilitation-energetique/>,» 2017. [En ligne].
- [12] INSA Toulouse et GA Smart Building, «<https://mooc-batiment-durable.fr/courses/course-v1:GA-INSATOULOUSE+2017MOOCBAT13+SESSION01/about>,» 2018. [En ligne].
- [13] M. Cisel, Utilisations des MOOC: éléments de typologie, Doctoral dissertation - Université Paris-Saclay, 2016.
- [14] J. Condé, Pourquoi et comment participer à un MOOC ? Quel(s) processus et parcours d'apprentissage(s) ?, Doctoral dissertation - Université Paris-Saclay, 2014.
- [15] FFB, «<http://www.ffbim.fr/le-bim-comment-aborder-un-appel-d-offres>,» [En ligne].
- [16] M. Raducanu, «<http://www.fermeture-store.org/files/snfpsa/Commun/02-ACTUALITES/Journee-BIM/Outil-d-aide-a-la-decision-pour-repondre-a-un-appel-d-offre-BIM-V3.2.pdf>,» 2017. [En ligne].

- [17] PTNB, «<http://www.batiment-numerique.fr/news/91/27/Publication-des-livrables-ABV.htm>,» 2017. [En ligne].
- [18] D. Moalic et D. Termignon, «Analyse du marché français des SPOC,» 2015.
- [19] I. Quentin, «Commission Nationale du Débat Public,» 2015.
- [20] RNR, «Inscription Concours Batissiel du RNR,» 2019. [En ligne]. Available: <http://batissiel.information-education.org/2019/index.php>. [Accès le 27 03 2019].
- [21] X. Jourdain, «3e prix du Concours Batissiel Plus catégorie Sup' pour le projet SAPHIRE P01,» 06 06 2018. [En ligne]. Available: http://dgc.ens-paris-saclay.fr/version-francaise/actualites/3e-prix-du-concours-batissiel-plus-categorie-sup-pour-le-projet-saphire-p01-385430.kjsp?RH=DL_DGC-FR. [Accès le 27 03 2019].
- [22] T. Sanchez et N. Ngo-Xuan, «Concours Batissiel Plus catégorie SUP : 2ème prix pour nos étudiants !,» 11 06 2018. [En ligne]. Available: <http://charles-de-gaulle.entmip.fr/actualites/concours-batissiel-plus-categorie-sup-16644.htm>. [Accès le 27 03 2019].
- [23] S. Codet, «Quand nos étudiants conçoivent l'école de demain,» 06 06 2018. [En ligne]. Available: <https://www.u-cergy.fr/fr/ufr-sciences-et-techniques/departement-de-genie-civil-et-infrastructures/actualites/competitions/batissiel-2018.html>. [Accès le 27 03 2019].
- [24] S. Codet, «Défi BIM 2016 - 2nde place au Défi BIM Innovation,» 07 04 2016. [En ligne]. Available: <https://www.u-cergy.fr/fr/ufr-sciences-et-techniques/departement-de-genie-civil-et-infrastructures/actualites/competitions/defi-bim-2016.html>. [Accès le 28 03 2019].
- [25] C. Donas, «Batissiel Plus : LE concours pour découvrir les enjeux du BTP !,» 11 07 2018. [En ligne]. Available: <https://emploi-btp.lemoniteur.fr/edito/article/batissiel-plus-le-concours-pour-decouvrir-les-enjeux-du-btp-aea-9432>. [Accès le 06 06 2019].
- [26] P. Durand, Titre de l'article, Cachan: éditeur, 2019.