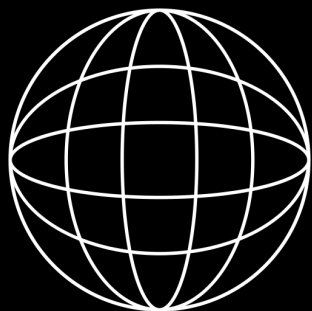


BIM+

CONCEPTION ET
CONSTRUCTION
VIRTUELLES

LA PROFESSION D'ARCHITECTE FACE À LA
NORME ET À LA TRANSITION NUMÉRIQUE

OMAR KHALEDI



BIM+

CONCEPTION ET
CONSTRUCTION
VIRTUELLES

LA PROFESSION D'ARCHITECTE FACE À LA NORME ET À LA TRANSITION NUMÉRIQUE

Mémoire d'Habilitation à la Maîtrise d'Œuvre

Soumis en Validation des Acquis de l'Expérience

Omar Khaledi

Sous la Direction de

Edouard Ropars



École nationale supérieure
d'architecture Paris-Malaquais

J'aimerais remercier:

- L'ensemble de l'équipe pédagogique de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-Malaquais, et en particulier **Isabelle Chesneau** pour son investissement et son organisation de la formation d'Habilitation à la Maîtrise d'Œuvre en son Nom Propre.
- Mon directeur de mémoire, **Édouard Ropars**, pour ses nombreux et précieux conseils, ainsi que nos échanges.
- Mon ami et mentor, **Pierre-Paul Zalio**, pour nos riches conversations, son soutien, sa relecture et la pertinence de son point de vue.
- Mes parents, **Asmae Chaouki et El Mostafa Khaledi**, pour leur amour indéfectible, et leur soutien continu et sans faille.
- Ma sœur, **Rhita Khaledi**, pour sa présence, son dévouement et ses conseils juridiques.
- **Bart Akkerhuis** et mes collègues du **Studio Akkerhuis**, pour m'avoir accueilli au sein d'un cadre de travail stimulant et pour leur contagieuse joie de vivre.

Merci

08	PARCOURS PROFESSIONNEL
10	Premiers Pas : Renzo Piano Building Workshop
14	La Suite : Studio Akkerhuis
20	Le Choix de L'Habilitation à la Maitrise d'Œuvre en son Nom Propre
24	PROPOS INTRODUCTIFS
28	ETAT DE L'ART DU BIM: UNE ÉVOLUTION ET NON RÉVOLUTION
29	Qu'est ce que le BIM? Définitions et Sémantique
40	Approche Historique
46	Impulsions et Initiatives
52	Cadre Institutionnel et Réglementaire
58	ARCHITECTE: UNE PROFESSION LIBÉRALE QUI PEINE À S'INSÉRER AU SEIN D'UNE LOGIQUE ÉCONOMIQUE À GRANDE ÉCHELLE
59	Réticences et Points de Vigilance
62	La Profession d'Architecte au Défi de la Norme
74	Cadre Légal et Contractuel
82	L'apparition de Nouveaux Rôles
88	VERS UNE ÉVOLUTION DU CADRE DE LA PROFESSION
89	Défis Organisationnels et Nouvelles Méthodologies de Travail
102	Quel Impact sur la responsabilité de l'architecte et ses assurances ?
106	Le BIM comme Terrain de Reconquête
112	PROPOS DE CLOTURE
118	FEUILLE DE ROUTE
128	BIBLIOGRAPHIE, SITOGRAPHIE, ET DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Diplômé en Juillet 2017 de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-La-Villette, j'ai intégré le Renzo Piano Building Workshop en Décembre 2017. Cette première expérience de travail salarié, s'est inscrite dans la continuité d'un parcours académique que je voulais international et ouvert sur la diversité des pratiques du métier d'architecte.

J'ai en effet, durant mes études d'architecture, choisi de prendre une année de césure, afin de suivre un semestre d'échange à l'école Polytechnique Fédérale de Zürich (ETHz), que j'ai complété par un stage professionnalisant de six mois au sein d'une agence Zurichoise: Rüprecht Architekten.

Cette expérience suisse m'a permis d'élargir ma vision et ma conception de la profession d'Architecte, à la lumière de pratiques différentes, caractérisées par l'articulation habile d'un académisme formel au rationalisme austère, avec une forte exigence technologique portant à la fois sur les modalités et méthodes de travail par un recours aux outils numériques et au BIM, mais aussi sur les modalités d'exécution des ouvrages bâtis.

I — PREMIERS PAS : RENZO PIANO BUILDING WORKSHOP

J'ai eu l'opportunité et la chance de débiter ma carrière au sein de l'agence de Renzo Piano, où durant 18 mois, j'ai travaillé sur un projet unique, balayant ainsi les premières phases du projet architectural, de l'esquisse et l'étude de faisabilité aux études de projet (PRO). Il s'agissait du projet du prochain siège social des cinémas Pathé avec des salles de cinéma attenantes, situé au croisement du boulevard des Capucines et de la rue de la Chaussée d'Antin: Le Pathé Palace, aujourd'hui en construction.

Ce premier projet, de réhabilitation lourde situé dans un périmètre protégé, m'a permis de découvrir le spectre entier des réglementations françaises en terme de construction (PMR, Sécurité Incendie, PLU, Bâtiments historiques classés et protégés) ainsi que l'aspect administratif afférent à la réalisation du projet architectural en France.

J'ai donc participé à la constitution du dossier de demande de permis de construire tout en consolidant mon savoir sur les premières phases de conception. Ayant fait partie d'une petite équipe de deux personnes, j'ai travaillé sur la totalité des aspects du projet relatifs à la constitution du Dossier de Permis de Construire, mais plus particulièrement sur les questions réglementaires relatives à la sécurité incendie et l'accessibilité du bâtiment qui était à la fois un ERP et un ERT.

Par ailleurs, de par sa complexité, ce projet m'a permis de développer une appétence et un intérêt nés durant mes études d'architecture, pour la conception numérique et le BIM. J'ai donc supervisé la modélisation et le détail de la verrière centrale du projet, en collaboration avec les ingénieurs de l'agence AIA Life Designers, ainsi qu'une salle de projection sphérique et mobile positionnée sur le toit : Deux éléments à la géométrie complexe pour lesquels l'outil numérique transcendait son rôle d'outil de représentation pour devenir un outil de conception, et un instrument de pensée à part entière.

Cette première expérience, dans sa globalité, m'a permis d'une part de me constituer des connaissances et un socle de compétences solides en termes de gestation du projet architectural, de l'idée initiale aux études de projet, et d'autre part, a donné naissance à des questionnements articulant le projet architectural en tant que tel, avec ses outils de production et le cadre réglementaire qui y est afférent.

II

—

LA SUITE : STUDIO AKKERHUIS

Fort de cette expérience, je décide en Juin 2019 de rejoindre l'agence Studio Akkerhuis, une agence d'architecture parisienne fondée par Bart Akkerhuis, néerlandais installé depuis plusieurs années à Paris et ayant fait ses armes en tant qu'associé au Renzo Piano Building Workshop où il a notamment travaillé sur le Shard à Londres et le Tribunal de Grande Instance à Paris. Cette nouvelle opportunité s'inscrivait elle aussi dans ce même désir d'évoluer dans un milieu professionnel international et multi culturel. Le Studio Akkerhuis compte près 15 nationalités différentes par ses employés et collaborateurs.

Par ailleurs, l'héritage d'une méthode Piano -caractérisée par un souci du détail, l'usage du BIM, et importance capitale accordée à la sensualité des édifices conçus-, associée à une équipe de collaborateurs jeunes et ouverts sur une diversité de pratiques

formelles, représentait pour moi un environnement idéal afin d'élaborer une pratique et une vision personnelles de l'architecture.

Durant mes six premiers mois à l'agence, j'ai travaillé sur le projet de la Meelfabriek, à Leiden, aux Pays Bas. Il s'agit d'une importante opération de réhabilitation d'une ancienne usine à farine comportant plusieurs corps bâtis, avec à la fois de la réhabilitation de bâtiments existants et de la construction de nouveaux bâtiments.

Pour ma part, j'ai principalement travaillé sur les parties neuves et plus particulièrement les détails de façade et de toiture formant le clos couvert du bâtiment. Le projet était déjà en phase PRO lorsque je suis arrivé. Je n'ai donc fait que très peu de conception, mais cela m'a permis de travailler davantage en phase PRO et

de me familiariser avec les exigences de celle-ci. Par ailleurs, j'ai aussi été confronté à la pratique de l'architecture à l'international, et notamment la notion de responsabilité spécifique aux Pays Bas, où c'est l'entreprise qui porte la responsabilité la plus lourde.

J'ai par ailleurs pu faire montre de mes compétences gravitant autour des sujets du BIM, outil déjà bien installé au sein de l'agence, mais rarement maîtrisé dans sa totalité. Ces compétences ont trouvé leur utilité dans le cadre d'un autre projet de grande envergure de l'agence, sur lequel j'ai commencé à travailler dès Janvier 2020 : la tour Mohammed 06 à Rabat, au Maroc, plus haute tour d'Afrique totalisant 80000 m².

Il s'agit d'un projet particulier dans le sens où la mission de l'agence était celle d'un travail de conception

architecturale pour le compte d'une entreprise en construction ayant signé un contrat de Conception-Réalisation avec la maîtrise d'ouvrage.

Sur ce projet, j'ai eu des responsabilités diverses :

- Étude et développement du sous sol, parkings et locaux techniques.
- Développement des détails constructifs des piscines, fontaines et lames d'eau, ainsi que les détails d'interfaces intérieur / extérieur et étanchéité.
- Travail de synthèse et coordination structure et fluides.
- BIM coordination et management des données numériques du projet.

La nature de cette mission, où les tâches qui nous ont été confiées échappaient dans leur presque totalité au domaine créatif, m'a permis de

préciser mes questionnements sur les potentialités de l'outil numérique, à la fois en tant qu'outil de production, de création, et de coordination. Il s'agissait aussi pour moi d'une prise de conscience sur les profondes mutations que l'usage du BIM induit dans l'organisation du travail de l'architecte, ainsi que sa reconfiguration des relations de subordination au sein d'une agence d'architecture. Ma maîtrise avancée des outils de conception et de coordination numériques m'a permis de me positionner comme une force de proposition durant les phases de synthèse architecturale et de coordination tous corps d'état, et *in fine*, de les mener auprès des différents bureaux d'études et intervenants au projet.

C'est aussi sur ce projet que ma montée en compétences et mon intérêt pour le BIM m'ont permis d'assumer par défaut, par circonstances et par intérêt, le rôle BIM Manager au sein de l'agence. J'ai en ce sens développé la charte BIM de l'agence et papillonné entre différents projets afin d'apporter mon support et rédiger les chapitres relatifs au BIM de certains contrats, ainsi que certains BIM Execution Plan.

Ces tâches ponctuelles, de l'ordre du presque administratif, m'ont permis de nourrir une réflexion sur l'articulation du cadre contractuel de la production architecturale et de la mission créatrice, le BIM étant au carrefour de ces sujets, car à la fois médium, outil de production et outil d'assistance à la création.

Nous avons finalisé notre mission sur le projet de la Tour Mohammed 06 en Septembre 2021 et j'ai travaillé durant les six mois suivants sur le projet d'une opération mixte à Curaçao, une des îles Sous-le-Vent aux Petites Antilles (Caraïbes), formant un état autonome au sein du royaume des Pays-Bas.

Il s'agit d'un bâtiment -ou plutôt d'une série de bâtiments- à usage mixte sur une parcelle en front de mer, comportant des éléments historiques et classés au patrimoine mondial de l'UNESCO, et totalisant une surface de 20000 m². Le programme est très riche et associe un socle public (restaurants, salle de spectacle, centre d'art, lieux de travail partagés, école hôtelière) sur lequel viennent se poser des volumes de logements et d'hôtel. La projet en est au stade de l'esquisse avec une exploration du champ des possibles et une confrontation des

idées conceptuelles à la réalité socio-économique du lieu d'implantation. Là aussi, la question l'outil numérique en tant qu'outil créatif a été présente et m'a permis de nourrir d'avantage ma réflexion sur les potentialités et les points bloquants de la conception numérique, et l'éventuelle nécessité de sa mise en place en tout début de projet.

En raison de blocages à la fois économiques et politiques, le projet connaît aujourd'hui un moment de suspension.

Et cela a été l'occasion pour moi d'intégrer une nouvelle équipe et de travailler sur un projet mixte de bureaux dont le Studio Akkerhuis a remporté l'appel d'offre en Mars 2022. Il s'agit d'un projet de réhabilitation d'un hôtel particulier situé Rue de Londres dans le 9ème arrondissement

de Paris, converti en bureaux pour une maîtrise d'ouvrage américaine, pionnière des nouvelles technologies, et dont l'identité est pour le moment confidentielle. Sur ce projet, qui en est au stade d'esquisse, j'ai la charge d'une réflexion autour de sa fonction publique en Rez de Chaussée et en Rez de Jardin, avec la programmation de lieux de restauration et d'accès à la culture, interface poreuse entre les travailleurs et le voisinage immédiat, le projet ayant pour vocation d'être ouvert sur le tissu urbain environnant.

La Studio Akkerhuis ayant remporté par ailleurs l'appel d'offre pour la mission de BIM Management sur ce projet, j'ai par ailleurs la charge de mener cette mission, cette fois en assumant le rôle de BIM Manager Général, chapeautant l'ensemble de l'équipe de maîtrise d'œuvre.

III

—

LE CHOIX DE L'HABILITATION À LA MAITRISE D'ŒUVRE EN SON NOM PROPRE

En Juillet 2017, à l'issue de mon année de Master 2, ayant mené à l'obtention du Diplôme d'État d'Architecte, j'avais décidé de m'inscrire l'année suivante en Habilitation à la Maitrise d'Œuvre en son Nom Propre. Mes premiers pas dans la vie professionnelle m'ont aidé à prendre conscience de la complexité de la profession d'Architecte, et de l'importance d'une expérience professionnelle venant nourrir les savoirs académiques. J'ai donc décidé de reporter à un futur proche cette année d'habilitation et de me concentrer sur mon insertion dans le monde du travail et au sein des agences d'architecture.

Aujourd'hui, après trois années passées au Studio Akkerhuis, si j'ai choisi d'effectuer mon Habilitation à la Maitrise d'Œuvre, c'est parce que j'ai le sentiment d'être dans un cadre professionnel opportun à sa réalisation. Studio Akkerhuis est une agence jeune qui connaît un développement atypique

m'offrant ainsi un cadre stimulant pour approfondir ma compréhension de la profession d'architecte, mais aussi pour m'interroger sur l'avenir de la profession. Studio Akkerhuis est une agence qui offre des perspectives d'évolution professionnelle intéressantes et encourageantes. C'est aussi une agence ouverte à l'expérimentation et au décloisonnement des disciplines, des tâches et des façons de procéder.

Mon choix d'effectuer mon Habilitation à la Maitrise d'Œuvre est donc motivé par le sentiment d'avoir atteint un moment d'équilibre, entre candeur académique et maturité professionnelle. C'est aussi parce que j'ai le sentiment que le temps est venu pour moi de gagner en responsabilités sur les projets sur lesquels je travaille, la compétence et les responsabilités technologiques n'étant pas suffisantes à mes yeux.

Riche d'une large compétence sur les outils modernes de production du projet architectural, et ce, à travers des projets divers et aux échelles variées, je développerai dans ce mémoire d'habilitation une réflexion sur la confrontation de l'expérience de l'architecte aux outils de conception numérique, afin de porter un regard à la fois réflexif, mais aussi prospectif sur ma pratique. La transformation numérique qui impacte l'économie impose aux entreprises -y compris les agences d'architecture- d'innover et de se plier à des méthodologies nouvelles, afin de survivre dans un monde numérique en évolution constante.

Le propos de ce mémoire professionnel d'habilitation est d'interroger le métier d'architecte, sous l'angle d'une pratique personnelle, qui durant les cinq années passées, a été caractérisée par la prépondérance, voire l'hégémonie des outils numériques et du BIM, dans des environnements de travail internationaux. Il ne s'agit pas ici de défendre ou de décrier ces outils, ni d'en donner une nouvelle définition, mais de porter à la fois un regard réflexif sur leur utilisation en me basant sur mon expérience en agence d'architecture, et un regard prospectif sur une évolution future de ma pratique, et de la profession au sens large.

Le BIM, que je conçois comme inhérent d'une pratique personnelle du projet architectural, est encore aujourd'hui perçu chez bon nombre de mes futurs confrères, comme un

ensemble vaporeux et hétéroclite de procédés et d'outils utilitaires compliqués à maîtriser, dissociés de l'activité d'idéation, de mise en forme et de conception. Ces outils sont vécus comme une contrainte et créent ainsi une forte appréhension et des réticences caractérisées.

Ces questionnements et réticences, ne sont pas sans rappeler celles afférentes à la démocratisation du dessin/conception assistés par ordinateur durant les années 1980. Le BIM se place aujourd'hui non comme une innovation disruptive, soudaine et qui perturbe l'ordre établi, mais dans une continuité d'innovations technologiques des outils de l'architecte qui avait déjà débuté lors de la seconde moitié du XX^{ème} siècle. Ainsi, la technologie du BIM, évolution de l'informatisation de la profession depuis les années 1980, cristallise les

interrogations des architectes face aux défis de la transition numérique.

Cette transition, nécessaire et inévitable, implique une mutation profonde de la profession d'architecte, et a pour épine dorsale le BIM, à la fois en tant qu'outil et méthode de travail.

Il s'agira pour moi, à travers ce prisme, de faire un exercice prospectif d'analyse de ce qui pour moi, constitue l'infrastructure du métier d'architecte, et sur laquelle repose le travail créatif de conception :

- L'aspect réglementaire de la profession, en évolution constante et qui nécessite une maîtrise de certains outils et concepts afin de mener à bien le projet architectural.

- Les responsabilités du maître d'œuvre et leur articulation avec le travail collaboratif induit par le BIM.

- L'économie du projet et les nouveaux impératifs environnementaux, en tant que terrains de reconquête pour les architectes à travers les outils numériques de quantification.

Il s'agira aussi et surtout de porter un regard sur le cœur du métier de l'architecte, son travail de conception, et comment celui s'articule avec les exigences posées par la transition numérique que connaît la profession.

ÉTAT DE L'ART DU BIM : UNE ÉVOLUTION ET NON UNE RÉVOLUTION

I
-

QU'EST CE QUE LE BIM ?
DÉFINITIONS ET SÉMANTIQUE

Le BIM renvoie à un ensemble de procédés de modélisation géométrique, de saisie d'informations, et de collaboration autour du projet, à travers un support commun et fédéré: la maquette numérique. Ainsi, le projet n'est plus dessiné grâce à des lignes sur une table à dessin virtuelle, mais modélisé grâce à un ensemble d'objets définis et spécifiés par l'utilisateur, portant chacun des informations déterminantes sur leur nature, leurs propriétés constructives et leurs conditions de mise en œuvre. Ces objets, de par leur nature paramétrique et évolutive, permettent de préciser l'information et le niveau de détail géométrique au fur et à mesure de l'avancée du projet, avec un concours de tous les intervenants à l'acte de construire : Architectes, Bureaux d'Études, et parfois les Entreprises de Construction.

L'acronyme BIM, d'origine anglo-saxonne, renvoie à plusieurs significations interdépendantes et complémentaires :

- **Building Information Model**, qui fait référence à la maquette numérique, en tant que base de donnée fédérée du projet, produit du travail de collaboration de l'équipe de maîtrise d'œuvre. Elle constitue ainsi le résultat d'un travail et pourrait être assimilée au pendant numérique de **la production physique** de l'architecte afin de représenter son projet: plans, coupes, élévations, croquis et maquettes physiques. Il s'agit aussi d'une base de données, constituée d'un, ou de plusieurs modèles fédérés.

- **Building Information**

Modelling, qui fait référence à l'action de modélisation virtuelle d'une construction. Cette action est à assimiler au travail de projection du projet architectural et constitue ainsi **l'instrument de pensée** grâce auquel un projet est formalisé et communiqué. Au-delà du travail créatif, il s'agit aussi d'un travail de collecte, de structuration et d'utilisation des données afférentes aux objets constituant une construction. Chaque intervenant au projet renseigne et utilise la maquette, en y intégrant les informations relatives à son corps de métier et en tire celles dont il a besoin afin de formaliser ses idées. Il s'agit d'une méthodologie de travail basée sur la collaboration et sur la mise en commun des savoirs de chaque intervenant au projet, aboutissant à un objet virtuel renseigné permettant la mise en œuvre du projet, et dans certains cas, son exploitation.

- **Building Information**

Management, qui fait référence aux modes d'organisation et de gestion du travail et des informations contenues dans la maquette numérique. Il s'agit en ce sens d'**une méthode et d'un processus** normés permettant de gérer et d'échanger de façon fiable les flux de données inhérents au projet architectural et contenus dans la maquette numérique, mais aussi d'assurer son suivi ainsi que la base de données qui y est associée.

L'usage du BIM implique donc des procédés nouveaux afin de créer, concevoir et construire un projet architectural, les informations permettant sa mise en œuvre étant tout aussi importantes que le dessin volumétrique de la construction. Il est donc à envisager comme « une méthode de centralisation et de fluidification de l'information au sein

du projet de construction »¹ permettant d'optimiser les différentes phases du projet, réduisant ainsi le temps et les coûts qui y sont associés.

Cette fluidification est notamment permise par le recours à des **bibliothèques d'objets** comprenant les éléments usuels mis en œuvre dans un projet bâti -cloisons, murs, portes, fenêtres, mobiliers, équipements, appareils sanitaires-. Ces objets, sont toujours structurés dans une logique arborescente. Dans le cas du logiciel Revit, les objets font partie de **catégories** -Murs, Portes-, elles mêmes comprenant des **familles** d'objets, qui seront spécifiées en **types** -cas d'éléments se répétant de façon sérielle et ayant les mêmes propriétés, comme un type de porte- ou en **instances** -cas d'éléments uniques et isolés-. Les objets constituant les bibliothèques peuvent être directement téléchargés sur le

site d'un fabricant, et importés pour utilisation dans le modèle -cas d'une famille de ventilo-convecteurs par exemple-, ou entièrement modélisés dans le cas de créations originales -cas d'un meuble dessiné par l'architecte-.

Les objets utilisés dans une modélisation peuvent avoir différents niveaux de détail. Les **Niveaux de Détail** -ND- aussi appelés **Levels of Detail** -LOD- ou **Levels of Information Need** -LOIN- sont fixés selon une convention commune, qui spécifie les niveaux de développement géométrique, ainsi que les besoins en informations et données, pour une catégorie d'objets spécifiques et pour une phase spécifique du projet. Il existe différentes échelles selon les pays, et celles-ci suivent usuellement le découpage par phases en vigueur dans le pays en question. En France, ces niveaux de détail vont du **ND1 au ND5**.

Le **ND1** correspond à la phase d'**esquisse**, et consiste en un travail en volume afin d'évaluer les impacts d'un bâtiment sur un site, et ses interfaces avec le tissu urbain ou paysager environnant.

Le **ND2** correspond aux phases d'**APS**, et de **Permis de Construire**, et implique un niveau de détail correspondant au 200°, permettant le dépôt d'un permis de construire.

Le **ND3** correspond aux phases d'**APD**, **pré-synthèse**, et **PRO/DCE**. Il s'agit là de spécifier et repérer de manière exhaustive les composants du bâtiment projeté, afin de permettre une description détaillée du projet en vue de la constitution d'un dossier de consultation.

Le **ND4** correspond aux phases de **Synthèse** et d'**Études d'Exécution**. La maquette ND4 intègre les caractéristiques des éléments retenus dans les marchés d'entreprises et mis au point durant les études d'exécution. C'est une intégration de la méthodologie d'exécution qui permet d'évaluer les impacts éventuels de modifications potentielles pendant la phase d'exécution.

Enfin, le **ND5**, correspond au **Dossier des Ouvrages Exécutés**, et consiste en la modélisation d'un jumeau numérique de l'ouvrage, qui deviendra le support à l'exploitation et la maintenance d'un bâtiment durant son cycle de vie.²

Ces niveaux français, trouvent leur pendant dans des standards internationaux allant du **LOD100** au **LOD500**.

1. Sattler L., " L'ère Post-BIM — Pour une obsolescence déprogrammée: une étude de cas de deux projets de Frank Gehry en France, de 2008 à 2016 " Janvier 2018

2. Le Moniteur, *Cahier Pratique, " BIM/Maquette Numérique. Contenu et Niveaux de Développement. "*, 09 Mai 2014, Le Moniteur n°5763 - Cahier détaché n°2 [En Ligne] <https://www.syntec-ingenierie.fr/wp-content/uploads/2019/06/2014-05-09-cahier-moniteur-bim-maquette-contenu-niveau-developpement.pdf>

Sur le plan collaboratif, l'utilisation du BIM peut se faire selon trois niveaux de collaboration différents et distincts.

Le **BIM Niveau 1**, aussi appelé **Lonely BIM**, consiste en une utilisation isolée de la maquette, sans qu'il n'y ait d'échanges ou de coordination collaborative entre les différents acteurs du projet. Il s'agit d'une méthode qui n'est pas bien différente de l'utilisation d'un logiciel de modélisation classique de type Rhino ou Sketchup, hormis la possibilité de renseigner les objets utilisés de façon plus précise. C'est un niveau qui est communément utilisé lors des toutes premières phases de conception, lorsque le parti général du projet n'est toujours pas fixé.

Le **BIM Niveau 2** introduit la notion de **collaboration**, avec l'utilisation d'une plateforme de **Gestion Electronique des Documents**, sur

laquelle tous les acteurs du projet déposent leurs maquettes respectives, selon un planning prédéfini, le plus souvent hebdomadaire. Ces maquettes, qui sont géo référencées par rapport à un référentiel commun -comme le Niveau de la Ville de Paris, NVP- sont ensuite **liées** les unes dans les autres. Cette liaison permet à tous les intervenants de consulter le travail des autres parties prenantes et de le superposer avec le sien, afin de l'adapter par la vérification géométrique des éventuelles interférences et superpositions -entre la structure et les réseaux de fluides par exemple-. Il s'agit du niveau qui est communément utilisé aujourd'hui, car il permet une collaboration efficace par l'agrégat des différentes maquettes, tout en gardant la propriété de son propre travail.

Le **BIM Niveau 3**, pousse le concept de collaboration à son paroxysme et s'appuie sur l'**utilisation commune d'une même maquette** sur laquelle chaque intervenant travaille. Ce niveau n'est pas utilisé car il implique d'une part, des machines aux forces de calcul stratosphériques -tous les éléments du projet se trouvant sur un seul et même fichier-, et d'autre part, il pose la question de la responsabilité et de la propriété intellectuelle de chaque intervenant.

Au-delà des niveaux de collaboration et de détail, il existe aussi des dimensions relatives aux cas d'usage du BIM. Le **cas d'usage 3D**, est le plus classique et renvoie à la représentation géométrique des données d'un ouvrage en trois dimensions permettant la visualisation et la coordination générale du projet.

Le **cas d'usage 4D**, renvoie à une méthode incluant la durée, la chronologie et la planification d'un chantier, avec une forte valeur d'optimisation chronologique des différentes étapes de la construction d'un ouvrage.

Le **cas d'usage 5D**, renvoie à l'estimation des coûts de la construction, avec une précision de la quantification permettant un suivi et une analyse budgétaires en temps réel. Cette utilisation permet de minimiser d'éventuelles retombées budgétaires grâce à des rapports de budgétisation réguliers.

Le **cas d'usage 6D** renvoie à une analyse multi-paramétrique et dynamique durant le travail de conception, de la consommation et l'impact énergétique d'un ouvrage. C'est une approche qui va au-delà de l'approche conventionnelle

d'estimation des coûts initiaux afin d'articuler les dimensions environnementales et énergétiques aux notions de durabilité et de rentabilité financière.

Enfin, le **cas d'usage 7D**, apporte les dimensions d'exploitation et de maintenance d'un bâtiment et de ses installations, pour l'ensemble de son cycle de vie. Il s'agit d'une approche qui agrège au sein d'un modèle central les processus de gestion des installations, les manuels de maintenance et d'exploitation, les spécifications techniques, ainsi que les informations de garantie. Cette utilisation permet d'améliorer la qualité de la prestation de services pendant tout le cycle de vie d'un projet³, mais aussi d'exploiter les données de ses utilisateurs.

3. Bim-Manager.fr, " *Que sont les dimensions BIM – Explication du BIM 3D, 4D, 5D, 6D et 7D* " [En Ligne]
<https://bim-manager.fr/que-sont-les-dimensions-bim-explication-du-bim-3d-4d-5d-6d-et-7d/>

Ces niveaux de détail et de collaboration, ainsi que les cas d'usage sont spécifiés et explicités au sein du **BIM Execution Plan**, aussi appelé **Convention BIM**, **Charte BIM**, ou **Protocole BIM**. Tel que défini par l'ordre des architectes, il s'agit d'un document contractuel et opposable, qui est adossé aux contrats des acteurs de l'équipe de maîtrise d'œuvre. Cette convention est rédigée par le BIM Manager pour le compte de la maîtrise d'ouvrage, et intervient généralement lors de la mise en place du BIM collaboratif de niveau 2. La convention est ensuite communiquée aux acteurs de l'équipe de maîtrise d'œuvre. Il convient par ailleurs que ces derniers rédigent une convention spécifique à leur discipline, traduisant et spécifiant la convention de la maîtrise d'ouvrage pour une utilisation en interne.

Dans certains cas, l'architecte mandataire joue aussi le rôle de BIM Manager et est en charge de la rédaction de la convention. Le BIM Execution Plan permet de définir des règles du jeu afin de répondre aux demandes et attentes de la maîtrise d'ouvrage. Le Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment (PTNB), lancé par le Ministère du Logement en 2014 définit dans un Guide publié en 2016 le BIM Execution Plan comme posant un cadre aux « méthodes d'organisation, de représentation graphique, la gestion et le transfert des données du Projet, ainsi que les processus, les modèles, les utilisations, le rôle de chaque intervenant, et l'environnement collaboratif du BIM »⁴.

4. PTNB, " *Guide de Recommandation du PTNB* " [En Ligne]
http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/PTNB_-_Guide_Methodo_MOA.pdf

5. Zacklad, E., " *Les Enjeux de la transition numérique et de l'innovation collaborative dans les mutations du travail et du management dans le secteur public* » dans « *Travailler dans les services publics: la nouvelle donne* " 2020

6. Zacklad, E. Alemanno S.P. Ihadjadene M., " *Transition Numérique, une approche info-communicationnelle?* " dans « *Approches théoriques en information-communication* » 2020

Ainsi, le BIM en tant qu'outil et méthode tente d'apporter un cadre, structurant l'organisation du travail dans le monde de la construction au sens large, et pour la profession d'architecte au sens strict. Ce cadre permet l'insertion des agences d'architecture, bureaux d'études et entreprises au sein de la transition numérique, qui, en parallèle à l'informatisation, tire profit des dernières avancées technologiques et du développement de l'informatique dématérialisée dans le Cloud pour mettre en place une « démarche qui donne le pouvoir aux métiers et aux utilisateurs dans des logiques dites agiles ou collaboratives »⁵. « Elle correspond à une triple transformation des filières, du management et du travail »⁶.

Il convient enfin de préciser que l'acronyme BIM, qui sera utilisé dans ce texte par commodité, est voué à disparaître, ou du moins, à être intégré au sein de l'acronyme VDC, qui renvoie à Virtual Design & Construction -Conception et Construction Virtuelles-.

Si le BIM renvoie à un outil partagé de représentation et de conception numérique des caractéristiques physiques et fonctionnelles d'un ouvrage, le VDC renvoie à la gestion des modèles numériques, ainsi qu'aux actions et processus normalisés induits par la transition numérique et destinés à améliorer les conditions de conception, d'exécution, de gestion et de maintenance d'un ouvrage bâti, durant son cycle de vie.

II

—

APPROCHE HISTORIQUE

Les premières réflexions sur la fabrication assistée par ordinateur trouvant une application dans le monde bâti débutent dès les années 1960, avec des idées révolutionnaires à bien des égards pour leurs temps. En 1962, Douglas Carl Engelbart - ingénieur et pionnier de l'informatique américain - explore un paradigme nouveau de base de données constituée d'objets paramétrés afin que "l'architecte commence à entrer une série de spécifications et de données relatives à un plancher de quinze centimètres d'épaisseur, des murs en béton de trente centimètres d'épaisseur et de deux mètres et demi de haut dans l'excavation, et ainsi de suite. Lorsqu'il a terminé, la scène mise à jour apparaît sur l'écran et la structure prend forme. Il l'examine et la réajuste en conséquence. De façon itérative, le modèle se développe en une structure interconnectée et de

plus en plus détaillée, qui représente la pensée sous jacente à la conception en cours. »⁷ Durant les années 1970, cette réflexion a été poursuivie dans le domaine de l'industrie aérospatiale, avec l'apparition du logiciel CATIA, développé par la société française Avions Marcel Dassault, devenue Dassault Systèmes. Il s'agissait du produit d'une réflexion menée par Bernard Charlès - directeur général de Dassault Systèmes - et Armand Hatchuel - théoricien de la conception - autour de l'outil numérique de modélisation en trois dimensions, comme instrument de pensée et de conception. Il s'agit d'un logiciel qui fait encore figure de référence et de standard aujourd'hui dans l'industrie aérospatiale, et qui a servi de base au développement de Digital Project, logiciel propriétaire de Gehry Partners LLP. Cette réflexion qui s'est engagée chez Dassault Systèmes durant les

7. **Engelbart, D. C.,** " *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework. Summary Report AFOSR-3223 under Contract AF 49(638)-1024, SRI Project 3578 for Air Force Office of Scientific Research. Menlo Park, Ca., Stanford Research Institute.* " 1962 [En Ligne]
https://www.doungengelbart.org/pubs/papers/scanned/Doug_Engelbart-AugmentingHumanIntellect.pdf

années 1970 se poursuit encore aujourd'hui, avec le développement actuel d'un logiciel destiné aux concepteurs, et ayant pour ambition de mettre le geste de conception au coeur de la modélisation : 3DEXPERIENCE®

Il n'y a pas de consensus clair au sujet de l'origine du BIM en tant que concept. Si Chuck Eastman avance que la notion Building Modeling trouve son origine dans un article datant de 1975 intitulé « Building Description Systems »⁸, Vanessa Quirk suggère que l'apparition de ce concept date de 1962, et les début de démocratisation des systèmes informatiques.⁹ Néanmoins, les deux s'accordent pour dire que le

Building Information Modeling, dans son acception contemporaine a été défini en 1986, sans être cité, dans un article de Robert Aish, avec une étude de cas du Terminal 03 de l'aéroport d'Heathrow¹⁰, où il décrit un procédé numérique de saisie des informations relatives à une construction et de modélisation de ses propriétés géométriques en trois dimensions, avec une possibilité d'édition et d'évolution de ces informations, par le biais d'une interface ne nécessitant pas de connaissances en programmation informatique. On passe alors d'une informatique de programmation à une informatique d'édition.

8. Eastman , C., Teicholz , P., Sacks , R. & Liston , K., "BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors", New Jersey, Wiley. 2008

9. Quirk, V., "A Brief History of BIM", 2012 [En Ligne]
<https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>

10. Aish, N., " Three-dimensional input and visualization. In: Computer-Aided Architectural Design Futures. " London, Butterworths, 1986

11. Van Nederveen, G.A. and Tolman, F.P. , " Modelling Multiple Views on Buildings. Automation in Construction, 1, 215-224. ", 1992

Six ans plus tard, en 1992, le terme « Building Information Model » a été utilisé pour la première fois dans un article de Van Nederveen et Tolman, rédigé à l'Université Technique de Delft et portant sur l'automatisation dans le monde de la construction.¹¹

En France, dès les années 1990, des campagnes nationales invitent les agences à se doter d'ordinateurs et de logiciels de CAO.¹² Il y a encore à cette époque «peu d'ordinateurs dans les agences d'architecture, et ils [sont] généralement utilisés pour faire du traitement de texte et de la comptabilité. Les tâches de conception s'[effectuent] encore à la main, des

12. Huet M., " L'environnement numérique du bâtiment ", dans " Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Économie – Chantier " Paris, Eyrolles, 2018, pp. 410-419.

13. Picon A., "Culture numérique et architecture. Une Introduction" Basel, Birkhäuser, 2010.

14. Didelon V., " L'empire du BIM " Criticat, 2014, n°13, pp. 70-85.

premiers croquis au rendu final».¹³ Les plus réticentes des agences, qui ont subi la concurrence des premiers adoptants, ont fini par leur emboîter le pas après 2000.¹⁴

Cette généralisation de l'outil informatique a été catalysée dans les années 1990 par le développement exponentiel des technologies de l'information et de la communication, ainsi que la démocratisation d'Internet. Ce développement, quelque peu anarchique au départ, a soulevé des questions quant à l'interopérabilité des informations entre les différents intervenants à l'acte de construire, architectes et bureaux d'études,

chacun utilisant des logiciels propres à leur discipline. Au-delà des problèmes d'interopérabilité, c'est aussi l'atomisation des dessins et informations, leurs éventuelles pertes ou ressaisies qui engendra des défaillances, impactant le coût et la qualité d'ouvrages non coordonnées, tout en allongeant les délais d'exécution.¹⁵ Dès 1997, les éditeurs de logiciels se saisissent de la question avec la création de l'International Alliance for Interoperability -devenue BuildingSmart- et le développement du format d'échanges ouvert IFC, équivalent du PDF pour les données géométriques en trois dimensions et alphanumériques relatives à une construction.

L'année 2000 voit la sortie du logiciel Revit, propriété de la société Revit Technology Corporation. Autodesk, alors principalement connu pour son logiciel de dessin 2D Autocad, rachète la société fondatrice de Revit pour la somme de 133 Millions de \$ en 2002.¹⁶ Cette même année Autodesk tente de définir le BIM comme étant la « stratégie d'Autodesk pour appliquer les technologie de l'information à l'industrie du bâtiment. Les solutions BIM ayant trois caractéristiques : Elles créent et opèrent des bases de données numériques pour la collaboration. Elle gèrent le changement à travers ces bases de données de telle sorte qu'un changement d'une partie de la base de données est coordonné et répliqué en son sein. Elles capturent et conservent l'information afin qu'elle soit réutilisée

15. **Eastman C.**, " *Building product models: computer environments supporting design and construction* ", Boca Raton, Fla, CRC Press, 1999.

16. **Autodesk**, " *Autodesk to Acquire Revit Technology Corporation* ", 2002, [En Ligne] <https://archive.ph/20120710054143/http://investors.autodesk.com/phoenix.zhtml?c=117861&p=irol-newsArticle&ID=261618>

17. **Autodesk**, " *The Laiserin Letter* ", 2002, [En Ligne] http://www.laiserin.com/features/bim/autodesk_bim.pdf

pour une ou plusieurs applications »¹⁷ C'est ainsi que les éditeurs de logiciels, accompagnés de certains acteurs du monde de la construction se sont saisis du BIM, afin d'en faire un outil de conception, de visualisation et d'exploitation du projet architectural.

Cette démocratisation technologique a par ailleurs donné lieu à des initiatives gouvernementales afin de proposer un cadre légal ou réglementaire, du moins normé et standardisé pour le BIM. En Finlande, l'usage d'un processus BIM est obligatoire depuis 2007 sur tout marché public dépassant les deux millions d'euros. La Norvège a rendu obligatoire son utilisation à partir de 2010, ainsi que les Pays Bas en 2011. L'Angleterre, devancière dans les faits sur la question, a officiellement imposé

son utilisation en Niveau II sur tous les marchés publics, depuis Janvier 2016.

III

—

IMPULSIONS ET INITIATIVES

Face à la promesse d'une efficacité sans faille et d'un développement économique certain, les industriels du monde de la construction ont fait le choix très tôt de s'approprier les technologies du BIM, poussant ainsi maîtres d'œuvre et d'ouvrage à s'y initier et à l'adopter.

Ainsi, les fournisseurs de matériaux et d'objets pour la construction ont développé des bibliothèques d'objets propres afin d'accompagner la transition numérique induite par le BIM dès ses débuts. C'est le cas à titre d'exemple de l'entreprise Saint Gobain qui dès 2004 a implémenté le BIM afin de proposer en téléchargement aux maîtres d'œuvre leur catalogue de produits pour une intégration directe dans les maquettes numériques.

Le BIM est par ailleurs déjà largement utilisé par les grandes entreprises de construction comme Vinci, Bouygues ou Léon Grosse, dans le cadre d'opérations de Conception-Réalisation. Ces entreprises, qui fonctionnent sur le modèle de conglomérats internationaux aux logiques organisationnelles bien rodées, voient les processus de travail normés induits par le BIM comme un synonyme de gain de temps considérable et de productivité accrue, s'inscrivant dans une logique capitaliste de production immobilière à visée économique.

Ainsi, les grands acteurs du monde de la construction, au-delà de la maîtrise d'œuvre et ses réticences, accueillent le BIM à bras ouverts, et tendent progressivement à l'imposer à leurs partenaires, maîtres d'œuvre comme maîtres d'ouvrage.

La nécessité d'utiliser le BIM pour un projet peut parfois être à l'initiative d'une maîtrise d'ouvrage sachante qui y voit des avantages en termes de gain de coûts et de temps à court et à long terme, associés à des possibilités d'exploitation de l'ouvrage lors de son cycle de vie, en mettant en place un système de GMAO - Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur. Ainsi, dans le cadre du projet de l'École Normale Supérieure de Saclay, le recours à une GMAO a permis de déterminer que « les dépenses d'exploitation et de maintenance représenteraient, sur 50 ans, 70% du coût global -Investissement, Exploitation, Maintenance, Gros Entretien-. Dans le cas du projet de l'ENS, l'objectif était de ramener cette proportion à environ 60%, grâce au travail effectué sur le sujet de l'entretien-maintenance, dans le cadre d'une approche en coût global. Le BIM

est venu en appui à une approche en coût global et a permis de visualiser et prévoir les surcoûts d'exploitation.^{18»}

La maîtrise d'ouvrage voit donc en cette utilisation un moyen de capitaliser sur le travail de l'équipe de maîtrise d'œuvre, afin d'avoir un retour sur investissement supérieur en exploitant la maquette dans la gestion de l'ouvrage, et la maintenance des installations et consommables. La mise en place d'un système de GMAO ne concerne pas tous les projets, ni tous les maîtres d'ouvrages, mais il s'agit d'une demande grandissante et il n'est plus rare de voir en annexe à un contrat de maîtrise d'œuvre un cahier des charges BIM, voire une charte BIM fixant les attendus et objectifs pour la maquette numérique, qu'ils soient conventionnels -extraction de plans, coupes et élévation; détails de mise en œuvre et constructifs- ou moins

conventionnels -quantification et économie du projet, visites virtuelles, simulations 5D, analyse du cycle de vie du bâtiment-. En parallèle de ces potentialités purement techniques générant des profits, les maîtrises d'ouvrages peuvent être tentées par les potentialités publicitaires que permet l'utilisation du BIM, en mettant en place des visites virtuelles de leurs ouvrages avant qu'ils ne soient finalisés, à l'aide des technologies de réalité virtuelle.

Enfin, bien en amont de cette demande générée à la fois par certaines agences d'architecture, certains maîtres d'ouvrage et certaines entreprises, les éditeurs de logiciels ont questionné leur offre afin de cimenter leur place dans la plaque tournante du BIM. Le développement du BIM a été assurément accéléré et poussé par ces développeurs qui y ont vu

une opportunité financière sans précédent, passant d'une offre de table à dessin à une offre globale à 360°, rendant indispensables leurs produits des premiers instants de l'esquisse, jusqu'aux opérations de maintenance d'un ouvrage post-livraison. Il y a là une question à se poser sur ces neo-monopoles du monde bâti, et leur potentielle influence sur la production architecturale. Leur hégémonie, toujours plus large, pose aussi la question de la dépendance de la profession quant à leurs produits, d'autant plus que l'on vit une évolution qui transforme une informatique locale -caractérisée par l'achat d'un logiciel en version complète avec une jouissance illimitée- à une informatique dématérialisée dans le Cloud -caractérisée par un système d'abonnement, qui conditionne l'utilisation des logiciels à un paiement mensuel ou annuel-.

18. **Pierre-Paul Zalio**, président de l'École Normale Supérieure de 2012 à 2022 et Maître d'Ouvrage du projet de la nouvelle école à Saclay. Entretien, Juillet 2022

« Les différents acteurs seront plus que jamais dépendants de leurs outils informatiques et donc de ceux qui les commercialisent »¹⁹.

Aujourd'hui, il existe encore une concurrence constructive entre les deux ténors du secteur, Autodesk et Nemetschek, les poussant à faire évoluer leur offre en fonctions des besoins de la profession, et avec une relative maîtrise de leurs coûts. Cependant, leur segmentation par zone géographique²⁰ -Autodesk en Europe Latine, Angleterre et Etats Unis, et Nemetschek en Europe Germanique- devrait tout de même constituer un point de vigilance.

Comme pour toute nouvelle technologie, il est nécessaire que les pouvoirs publics et politiques nationales se saisissent de la question afin d'apporter un cadre institutionnel, réglementaire et éthique au développement que connaît le BIM en France aujourd'hui, travail qui a déjà été amorcé.

19. Didelon V., " *L'empire du BIM* " Criticat, 2014, n°13, pp. 70-85.

20. **Hypothèse:** basée sur des observations professionnelle personnelles et à l'issue de conversations informelles avec des architectes basés hors de France.

IN

—

CADRE INSTITUTIONNEL ET RÉGLEMENTAIRE

En France, dès 2014, sur la demande du Ministère de l'Égalité des Territoires, du Logement et de la Ruralité, le Rapport Mission Numérique Bâtiment²¹, ou Rapport Delcambre, posa les jalons d'une réflexion institutionnelle autour de la transformation numérique du secteur du bâtiment. Ce rapport visait à élaborer une « feuille de route opérationnelle sur le numérique appliqué au bâtiment, plus particulièrement sous l'angle du développement du processus BIM et de la maquette numérique. La mission vise d'une part à préciser l'état des lieux du savoir-faire français sur le sujet, ses forces et faiblesses, et d'autre part à identifier les axes stratégiques et opérationnels de développement devant aboutir à la généralisation du recours aux outils numériques par l'ensemble des acteurs à l'horizon 2017. »²² Ce rapport fait lui-même suite

à une directive Européenne en date du 15 Janvier 2014, qui invite les états membres à recourir au BIM pour leurs projets publics. Ces éléments laissent penser qu'à l'échelle gouvernementale, il y aurait une réflexion sur une éventuelle mise à jour du code de la construction et de l'habitation et du code de la commande publique.

Pour le moment, les institutions françaises ont fait le choix d'inciter à une utilisation du BIM, afin de permettre un temps de transition, plutôt que de le rendre légalement et réglementairement obligatoire. Ainsi « l'acheteur [le maître d'ouvrage] peut, si nécessaire, exiger l'utilisation d'outils et de dispositifs qui ne sont pas communément disponibles, tels que des outils de modélisation électronique des données du bâtiment ou des outils similaires ». ²³ Au niveau institutionnel, il y a un travail de

21. Delcambre B., " Rapport Mission numérique Bâtiment ", 2014, [en ligne]
<https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/154000066.pdf>

22. *ibid.*

23. Art. R.2132-10 du décret : BIM et outils de modélisation électronique.

concertation générale à mener. Une transition vers le BIM, par le nombre des acteurs qu'elle implique, touche à de nombreuses filières -bâtiments, travaux publics, infrastructures- et de nombreux métiers -architectes, ingénieurs, maitres d'ouvrage, entreprises et fournisseurs-, et a donc un impact sur les cadres d'exécution des marchés, privés et publics. Cette pluralité, ainsi que les interrelations et subordinations existantes entre les différentes institutions font qu'il y a une implication de plusieurs ministères.

Le Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté Industrielle et Numérique, et plus spécifiquement sa Direction des Affaires Juridiques et son Secrétariat d'État au Numérique, spécifient les exigences applicables aux marchés publics, afin d'encadrer l'utilisation du BIM par le biais de circulaires, et de décrets.

Le Ministère de la Ville et du Logement, sous tutelle du Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires a pour charge de mener la politique de la filière du bâtiment, secteur principal de l'activité des architectes. En 2014, ce ministère -alors nommé Ministère du Logement, de l'Égalité des Territoires et de la Ruralité, avec à sa tête Mme Sylvia Pinel- a lancé le Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment (PTNB), démarche se focalisant sur

la démocratisation du BIM dans le secteur du bâtiment selon trois axes, et basé sur le rapport antérieurement remis par M. Bertrand Delcambre. Il a été consacré à ce plan une enveloppe de Vingt Millions d'Euros sur une durée de quatre ans. Le premier axe consiste en une expérimentation par la pratique autour de l'appropriation du numérique par le secteur de la construction, avec une visée incitative. Le second axe consiste en un important effort de formation des professionnels aux nouveaux outils et méthodologies qu'implique la transition numérique, dans le but de démocratiser l'usage massif du BIM, même pour les projets de taille modeste. Le troisième consiste dans le développement d'une infrastructure numérique nationale solide et normée, permettant une interopérabilité des outils. Ainsi, le PTNB a soutenu et impliqué des instances de normalisation

internationales (AFNOR, ISO) afin de mettre en place des standards ouverts portant sur les techniques du bâtiment, mais aussi les méthodes de travail. Le projet de la nouvelle École Normale Supérieure à Saclay, réalisé par Renzo Piano, a été un projet pilote pour le PTNB, et a en ce sens remporté le prix du BIM d'Or en 2016.²⁴

A partir de 2017, à l'occasion de la première mandature Macron, le PTNB a été remplacé par le Plan BIM 2022, auquel a été allouée une enveloppe supplémentaire de 10 Millions d'Euros. Il s'agit d'une spécification et d'un approfondissement du PTNB, dont le changement de nom consacre l'importance centrale du BIM dans la transition numérique relative au bâtiment.

24. **Pierre-Paul Zalio**, président de l'École Normale Supérieure de 2012 à 2022 et Maitre d'Ouvrage du projet de la nouvelle école à Saclay. Entretien, Juillet 2022

Nous y trouvons deux axes principaux, complétés par huit actions concrètes:²⁵

- **Axe 1** : Généraliser la commande BIM dans l'ensemble de la construction
- **Axe 2** : Déployer le BIM dans les territoires en soutenant la montée en compétence des professionnels en fournissant un écosystème innovant d'outils numériques accessibles

- **Action 1** : Fiabiliser et sécuriser la commande et les contrats BIM
- **Action 2** : Simplifier le contrôle et l'autocontrôle du projet
- **Action 3** : Définir et assurer la prise en compte des besoins de la filière dans les travaux sur les normes BIM, les accélérer et faire converger
- **Action 4** : Observatoire du BIM dans le secteur du bâtiment
- **Action 5** : Développer les outils de montée en compétence accessibles au plus près des territoires
- **Action 6** : Évaluer sa maturité en BIM et la faire reconnaître par tous
- **Action 7** : Constituer un écosystème dynamique permettant à l'ensemble des acteurs d'échanger au niveau local
- **Action 8** : Permettre aux acteurs de collaborer concrètement en BIM avec la plateforme publique KROQI et son écosystème d'outils simples et adaptés aux professionnels

25. **Ministère de la Cohésion des Territoires**, " *Plan BIM 2022* ", [En Ligne]
<https://www.cohesion-territoires.gouv.fr/sites/default/files/2019-07/Plan%20BIM%202022.pdf>

Il convient de noter que les sommes allouées à ces plans -PTNB et Plan BIM 2022-, si elles peuvent sembler conséquentes pour le lecteur, sont néanmoins le synonyme d'un plan sans moyens, tant les besoins induits par la transition numérique du secteur du bâtiment sont complexes. À titre d'information et pour relativiser ces chiffres, le budget de l'état français représente en 2022 298.9 Milliards d'Euros, dont 6.5 Milliards alloués à la formation des jeunes.

La réflexion sur la transition numérique est par ailleurs déjà amorcée dans certaines École Nationales Supérieures d'Architecture afin de mettre à jour leur contenu pédagogique pour mieux préparer leurs étudiants au marché du travail. Il reste néanmoins rare que l'enseignement technique des outils informatiques trouve une application concrète dans

l'enseignement central du projet, et malgré la publication d'un référentiel d'enseignement numérique pour le BIM établi par le Ministère de la Culture en 2017, rares sont les écoles qui l'ont transposé dans leurs enseignements fondamentaux.²⁶ Aussi, la recherche en architecture étant dissociée des écoles d'architecture, au profit d'universités a produit une certaine forme de lenteur, voire d'immobilisme dans l'actualisation des programmes pédagogiques des écoles. La création récente du statut d'Enseignant Chercheur au sein des écoles d'Architecture est donc accueillie de façon positive, et laisse présager une fluidification des mouvements entre recherche et enseignement, ainsi qu'une complémentarité accrue et cohérente de ces deux pôles constitutifs du savoir académique.

26. **Ferries B.**, " *Outils et méthode pour la production collaborative de ressources pédagogiques pour l'enseignement du BIM* ", Mai 2019, [en ligne]
https://www.researchgate.net/profile/Bernard_Ferries/publication/333175287_Outils_et_methode_pour_la_production_collaborative_de_ressources_pedagogiques_pour_lenseignement_du_BIM/links/5cdeea01299bf14d95a2f99f/Outils-et-methode-pour-la-production-collaborative-de-ressources-pedagogiques-pour-lenseignement-du-BIM.pdf

ARCHITECTE:
UNE PROFESSION LIBÉRALE
QUI PEINE À S'INSÉRER AU SEIN
D'UNE LOGIQUE
ÉCONOMIQUE À GRANDE ÉCHELLE

I
-
RÉTICENCES ET
POINTS DE VIGILANCE

Le BIM, bien que de plus en plus répandu, continue à avoir des détracteurs, qui se refusent d'y adhérer, souvent par conviction. De par sa complexité, et les changements des méthodologies de travail qu'il induit, le BIM peut être perçu comme un effet d'annonce, un fantasme du monde numérique, un piège, dont le rapport efforts/bénéfices serait en la défaveur des architectes. Ils y voient une contrainte supplémentaire s'ajoutant à un cadre d'exercice de la profession déjà saturé de réglementations et de normes.

Au-delà des questions de conviction personnelle, les clivages engendrés par la démocratisation du BIM sont le fruit de craintes bien réelles quant à une modification trop lourde et contraignante de la profession dans le cadre de la transition numérique; une modification qui chez les plus réticents

est subie et non planifiée, et dont les impacts ne sont pas pensés en amont de sa diffusion.

Ces réticences trouvent aussi leur origine dans une méfiance vis à vis des éditeurs de logiciels de production architecturale, dont Autodesk (Autocad, Revit) et Nemetschek (Vectorworks, Archicad) sont dans désormais dans une position de duopole. Ces éditeurs, de par leur hégémonie, jouissent d'une très grande liberté quant à leur tarifs, mais aussi quant aux moyens qu'ils mettent à la disposition des architectes afin de faire leur travail de conception. Il y a là un sentiment légitime de dépossession de son instrument de pensée (historiquement le crayon, puis la table à dessin numérique), d'autant plus que la complexité induite par le BIM n'est pas simple à appréhender. À cela, vient s'ajouter le principe de modélisation

basé sur des bibliothèques d'objets déjà fonctionnelles, qui de prime abord peut être perçu comme contraignant ou limitant la création personnelle.

Aussi, l'usage du BIM, collaboratif dans son essence, est aussi parfois utilisé de la part des grandes entreprises de construction et d'ingénierie comme un moyen de reporter la charge de modélisation et de saisie des informations sur les architectes, qui restent les plus gros contributeurs à la maquette numérique.

Enfin, l'aspect contraignant, voire obligatoire sur certains marchés du BIM, fait peser la crainte d'une perte de la qualité de la production architecturale, puisque sans maîtrise avancée des outils, la pensée créative se retrouve engluée dans un système considéré comme rigide et réducteur, entrave à liberté de l'architecte.

Afin de palier cela, il convient tout d'abord que l'architecte, maître d'œuvre, se rende maître de son outil afin de maîtriser l'œuvre. Et pour cela, s'assurer d'une maîtrise totale des conditions de modélisation et de formalisation numérique de sa pensée, par exemple, en pensant le changement, en se formant en amont, afin de dissiper l'éventualité d'une dépendance à des bibliothèques d'objets, ou à une complexité logicielle.

Il convient aussi d'établir très en amont, dans le cadre d'un projet BIM, une matrice des responsabilités, qui implique réellement tous les acteurs, dès la genèse du projet, afin d'éviter des configurations où l'architecte fournirait la majeure partie du travail de modélisation et de saisie des informations relatives à celle-ci.

II

—

LA PROFESSION D'ARCHITECTE AU DÉFI DE LA NORME

Le BIM cristallise de nombreuses attentes et craintes du monde de l'architecture. Il est souvent associé à l'extinction du travail artisanal et créatif dans les bureaux d'architecture, ou le déclin et l'appauvrissement des missions confiées à l'architecte. Il peut cependant aussi être un moyen d'émancipation et de consolidation du rôle de l'architecte au sein de larges équipes de maîtrise d'œuvre.

Afin de comprendre les réticences que l'on peut rencontrer en France vis à vis du BIM, il convient de revenir à la réforme d'Aout 1968, qui a supprimé la section Architecture de l'école des Beaux Arts ainsi que le Prix de Rome. Dans un rejet total de toute forme d'académisme ou de normes formelles, cette réforme a été déterminante dans la façon dont les études d'architecture, et *in fine*, l'architecture en tant profession se

sont organisées et ont évolué durant la seconde moitié du XX^{ème} Siècle. Cette culture professionnelle, caractérisée par le rejet de toute norme ou système organisant l'acte créatif, associée à la séparation historique entre ingénierie et architecture, a produit la spécificité française de l'architecte maître d'œuvre. Son geste créatif, expression de la culture, ne pouvant être entravé par les impératifs de la technique ou de la norme et ne pouvant s'inscrire dans des logiques organisationnelles à grande échelle.

Ce paradoxe français, est d'autant plus prégnant que la culture beaux arts est tout de même restée enracinée dans le monde social des écoles d'architecture françaises, avec une culture de la charrette héritée du XIX^{ème} siècle, où l'architecte exerce seul, et sans élaboration d'une pensée rationalisée du travail.²⁷ Cela, associé

27. **Decommer M.**, " *L'entreprise libérale d'architecture* ", dans " *Profession Architecte : Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Économie - Chantier* " Paris, Eyrolles, 2018, pp. 421-425.

à un clivage qui n'a cessé de grandir entre Architecture et Construction depuis la moitié du XIX^{ème} Siècle²⁸, pourrait expliquer le rejet de certains du BIM qui s'inscrit dans une logique de la rationalité et une technique de la méthode.

Bien qu'il soit évident que le BIM introduit une normalisation portant sur la méthodologie de travail, qui ne saurait être mise sur le même plan que la normalisation académique de l'Architecture Beaux Arts, la rationalisation du travail qu'il induit se positionne tout de même à l'encontre

d'une vision de l'architecte affranchi, encore partagée aujourd'hui par de nombreuses agences. L'appel à contribution, « Le BIM est il l'avenir de l'architecture », lancé par la revue AMC a permis de révéler la variété des réactions que le BIM suscite chez les architectes : Il est à la fois « l'occasion de reprendre la maîtrise du projet »²⁹ et « la dernière chance des architectes de re-devenir les maîtres d'œuvre qu'ils ont cessé d'être »³⁰. Mais aussi le « coup fatal que les architectes vont prendre derrière la tête s'ils ne résistent pas ensemble à ce nouveau diktat ! »³¹

28. Marrey, B., " *Architecte : du maître de l'œuvre au disagneur.* " Paris, Édition du Linteau. 2013.

29. Levy-Bencheton J., " *L'occasion de reprendre la maîtrise du projet* " AMC Archi, 2015, [en ligne]
<https://www.amc-archi.com/article/l-occasion-de-reprendre-la-maitrise-du-projet-par-jacques-levy-bencheton-architecte-associe-et-bim-manager-brunet-saunier-architecture-paris,1528>

30. Arene O., " *Le BIM est la dernière chance des architectes de re-devenir les maîtres d'œuvre qu'ils ont cessé d'être* ", AMC Archi, 2015, [en ligne]
<https://www.amc-archi.com/article/le-bim-est-la-derniere-chance-des-architectes-de-re-devenir-les-maitres-d-uvre-qu-ils-ont-cesse-d-etre-par-olivier-arene-architecte,1552>

31. Sterlin X., " *À qui profite le BIM ?* ", AMC Archi, 2015, [en ligne]
<https://www.amc-archi.com/article/a-qui-profite-le-bim-par-xavier-sterlin-espaces-libres-architecture-paris,1618>

La méthodologie du BIM implique pour les agences d'architecture une mutation de leurs procédés de conception, et pose de nombreux défis en termes d'organisation interne du travail, avec notamment, des problèmes d'interopérabilité entre fichiers, bibliothèques et projets au sein de l'agence, mais aussi avec les intervenants externes partenaires au projet. Outre cela, les agences doivent faire face à une mutation organisationnelle du déroulement des projets, où les modalités et temporalités d'exécution des prestations sont modifiées, avec parfois la création de

missions complémentaires afférentes à l'utilisation du BIM. Le déroulement séquentiel du projet introduit par la loi MOP, intégrée au code de la commande publique en 2018, si elle est compatible avec l'utilisation du BIM, ne permet pas d'en tirer le meilleur parti. Puisqu'il permet des mouvements pendulaires entre phases de gestation et phases avancées du projet, grâce à un travail de modélisation paramétrique, évolutif et flexible -dans un cadre mis en place en début de projet-, et que par ailleurs il nécessite l'implication de toute l'équipe de maîtrise d'œuvre idéalement en début de projet, le

BIM permet de s'affranchir de cette organisation séquentielle et linéaire en phases distinctes et verrouillées. Mon expérience au Renzo Piano Building Workshop en est un exemple idéal. Le travail de conception, dès l'esquisse s'est fait sur une maquette BIM, avec une intervention très tôt dans le processus des bureaux d'études structure et fluides. Par ailleurs, le parti architectural fixé à l'APS a été à plusieurs reprises, repris ou modifié de façon substantielle, sans pour autant reprendre dans leur totalité les études et réflexions engagées à des phases ultérieures. Concrètement, si le dessin et l'organisation programmatique de certains espaces ont pu évoluer, modifiant ainsi le plan du bâtiment, les détails développés en fin de phase APD et en début de PRO ont pu être répliqués afin d'enrichir les dossier PRO, sans nécessiter une reprise totale du travail.

La phase de conception prend alors une importance essentielle, car elle nécessite une grande rigueur et un important effort de modélisation de la part de l'architecte, bien que le projet ne soit pas encore défini dans ses moindres détails. Et cela pose des questions relatives au découpage des honoraires par phases introduit par la loi MOP et qui ne reflète pas l'engagement et le travail fournis en phase de conception lorsque l'on adopte une méthodologie BIM.

Il y a un là un changement de paradigme ou d'une part, l'on sort de la table à dessin numérique offerte par un logiciel de CAO en 2D afin de travailler le bâtiment en volume. D'autre part, une importance particulière est accordée au travail collaboratif avec une implication des bureaux d'étude très tôt dans le projet. Les travaux de tous étant consultables

et mis à jour régulièrement sur une plateforme de Gestion Electronique des Documents -GED- commune, cette méthode en contrepartie, permet de rendre les échanges entre les différents intervenants de l'équipe de maîtrise d'œuvre plus productifs et fluides. Le travail de coordination et de synthèse architecturale et technique tous corps d'état, traditionnellement réservé à la phase d'exécution, est ici étalé sur toute la durée du projet, avec la promesse de réduire considérablement les incohérences entre corps de métier une fois arrivés sur le chantier. Il s'agit ainsi d'une modification fondamentale du travail de synthèse architecturale qui doit être appréhendé selon des modalités nouvelles, qui appellent à une réorganisation des temporalités et du jeu des acteurs. Les enjeux que représente cette mutation, avec leurs tenants et aboutissants ont été explorés dans le travail de Thèse

Doctorale³² d'Emilien Cristia, Maître de Conférences associé à l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris Malaquais.

32. Cristia E., " *Projet architectural et maquette numérique BIM : Enquête ethnographique au sein d'un grand projet de construction.* " Architectures Matérielles [cs.AR]. HESAM Université, 2020.

Au delà de la méthodologie de synthèse, l'implémentation du BIM nécessite une transformation des méthodes de travail, selon trois axes:³³

- Le premier axe, est celui de l'infrastructure informatique et technique de l'agence. Le traitement de l'information, à minima en trois dimensions, implique une puissance de calcul considérable nécessitant des logiciels et matériels spécifiques, et dont la procuration nécessite un réel investissement financier qui n'est pas à la portée de toutes les agences.
- Le second axe, est celui des moyens humains de l'agence, ainsi que l'organisation de ses ressources humaines. Le passage au BIM implique une montée en compétences des architectes qui désireraient utiliser cet outil dans leur travail de conception. L'acquisition de ces nouvelles

compétences peut elle aussi représenter un investissement de départ important. Par ailleurs, le passage d'un travail en deux dimensions -par dessin de plans et coupes- à un travail en volumétrie -par association de types d'objet-, implique une mutation profonde des méthodes créatives de l'architecte. Et c'est peut être là le point le plus bloquant pour beaucoup d'architectes pour qui le BIM est une entrave à la liberté procurée par le crayon. Le changement qui doit s'opérer ici, au-delà des besoins potentiels de formation des architectes en activité, est celui de l'appropriation de l'acte de modélisation comme instrument de pensée et non comme simple outil de représentation.

- Le troisième axe, est celui de la mobilisation institutionnelle, et concerne les politiques mises en œuvre afin de donner un cadre réglementaire et légal autour l'usage du BIM, mais

33. **Succar B.**, " *Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders* "; Automation in Construction, 1 Mai 2009, vol. 18, n°3, pp. 357-375

aussi celles mises en œuvre afin faire évoluer l'enseignement des ENSA en concordance avec les besoins et usages de la profession.

La nouvelle répartition des rôles de l'architecte au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre, est ici le résultat d'une uniformisation et une normalisation de l'acte de construire à l'échelle mondiale, afin de coordonner un nombre toujours grandissant d'intervenants au projet dans le cadre de grandes opérations complexes. Il s'agit d'une approche globale qui s'affranchit des frontières, et met en collaboration des acteurs ayant des parcours et des formations diverses, parfois antinomiques. Ayant travaillé sur le projet de la Tour Mohammed 06, à la fois en tant qu'Architecte et en tant que BIM Manager, j'ai pu faire l'expérience d'un travail de coordination et de traduction³⁴ des

34. **Un Travail de Traduction**, dans sa définition apportée par Bruno Latour, et qui fait référence à un dispositif socio-technique de coordination.

pratiques de conception qui n'était pas toujours clair ou évident. Bien qu'il s'agisse d'un projet sur le sol Marocain, les intervenants au projet étaient basés dans plusieurs pays. Le projet a été pensé sous la forme d'un contrat de Conception-Réalisation -Design-Build- passé entre une maîtrise d'ouvrage Marocaine, entité créée spécifiquement pour ce projet -O Tower, Filiale du Groupe Benjelloun- et une multi-nationale de construction Belge -Besix Group-. Au sein de cette configuration, l'entreprise a confié la mission de conception architecturale et technique à un architecte espagnol -Raphael de la Hoz- en phases de conception -ESQ, APS- pour ensuite confier le développement du projet en phases APD et PRO au Studio Akkerhuis, en collaboration avec William Matthews Associates, implantés à Londres. Le travail technique sur la structure et les fluides était lui confié à des bureaux

d'études divers basés en Espagne, au Maroc, en Belgique, en Suisse et aux Émirat Arabes Unis.

Dans une configuration d'acteurs aussi hétérogènes, la mise en réseau collaborative des informations du projet, ainsi que l'établissement de processus de travail normés et clairs sont essentiels au bon déroulement de celui-ci. Le BIM, qui implique des méthodes de gestion de projet normées, et qui privilégie le concept d'ingénierie concourante³⁵ au détriment d'un découpage séquentiel du travail, paraît ici une condition *sine qua non* afin que les architectes français puissent accéder

à une commande internationale de grande ampleur. Il apparaît alors que l'usage du BIM s'intègre dans une démarche évolutive de la maîtrise d'œuvre en termes d'évolutions techniques, réglementaires, et organisationnelles.

Le BIM qui répond à des problématiques collaboratives, techniques et économiques, apparaît comme contraire à une pratique libérale³⁶, artistique³⁷ et solitaire³⁸ de la profession, où l'image de l'architecte libéral, désintéressé et percevant des bénéfices non commerciaux, prime sur celle de l'architecte entrepreneur.

35. L'ingénierie concourante ou ingénierie simultanée (Concurrent Engineering ou CE en anglais), trouve ses origines dans les années 1960 aux États-Unis, et renvoie à une méthode d'ingénierie qui consiste à engager simultanément tous les acteurs d'un projet, dès le début de celui-ci, dans la compréhension des objectifs recherchés et de l'ensemble des activités qui devront être réalisées. La compréhension globale qui en résulte facilite la détection précoce des problèmes potentiels, permet de mettre en évidence des interdépendances complexes ou floues et aboutit à un accroissement de la motivation des ressources humaines.
https://fr.wikipedia.org/wiki/Ing%C3%A9nierie_concourante

36. Tripier P., " *L'architecture comme profession : comprendre les rapports de force* ", dans " *Profession Architecte : Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Économie – Chantier* " Paris, Eyrolles, 2018, pp. 69-72.

Les agences d'architecture en France, hormis quelques exceptions, restent aujourd'hui relativement petites. La généralisation très tardive d'un exercice de la profession sous les formes de l'association et du salariat a enraciné une forme de pratique indépendante. En attestent les 77 537 sociétés d'architecture, ayant en moyenne trois salariés à temps plein³⁹, chiffres révélateurs d'une atomisation de la profession en de petites structures au fonctionnement artisanal, sans organisation réfléchie. Penser le travail de façon rationnelle, et généraliser l'usage de normes semble alors assez ardu dans une configuration pareille,

d'autant plus qu'il y a un réel risque d'extinction des plus petites structures face à la transition numérique, faute de savoirs technologiques ou de moyens financiers. Cette transition peut aussi sembler inutile pour ces petites agences, qui y voient une complexité organisationnelle trop lourde pour des structures de quelques personnes.

Ainsi, les agences d'architecture en France ne sont que très peu intégrées dans les logiques organisationnelles de rationalisation qu'implique une transition visant à s'insérer dans une économie numérique globale⁴⁰.

37. Seitz F. " *Les rapports entre architectes et ingénieurs en France : l'Exposition universelle de 1889* ", Revue d'histoire moderne et contemporaine, 1992, vol. 39, n°3.

38. Decommer M., " *L'entreprise libérale d'architecture* ", dans " *Profession Architecte : Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Économie – Chantier* " Paris, Eyrolles, 2018, pp. 421-425.

39. Statistiques INSEE portant sur le métier d'Architecte. 2017

40. Hochscheid E., Halin G., " *BIM implementation in architecture firms : Interviews, case studies and action research used to build a method that facilitates implementation of BIM processes and tools* ", dans *Proceedings of the 36th eCAADe annual conference*, Lodz, 2018, pp. 10, [en ligne] http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2018_284.pdf

L'architecture « porte une discours de conscience sur la culture, sur la pensée et sur la société »⁴¹. Elle est aussi décrite par Frank Lloyd Wright comme étant la « mère des arts », et peine donc à s'insérer dans des logiques de collaboration de masse, caractérisées par le partage d'outils et de méthodes de travail. Ce partage est pourtant nécessaire dans le cadre d'un travail au sein de larges équipes de maîtrise d'œuvre, et même dans des configurations de co-traitance.⁴² La norme ISO 9001, portant sur les exigences pour un système de management de la qualité, dans des environnements impliquant plusieurs intervenants et collaborateurs, a été adoptée par de nombreux secteurs, y compris les grandes entreprises de construction et certaines maîtrises d'ouvrage professionnelles. Cette

norme a été rejetée par les agences d'architecture, en raison de la rationalisation qu'elle induit. Howard Aldrich, sociologue, voit dans ce rejet le refus d'une « perte de créativité »⁴³. Pourtant, il s'agit d'une norme portant sur le *comment*, et non sur le *quoi* du cœur de métier de l'architecte.

Cette contradiction peut néanmoins se révéler être une source de réflexion, en vue d'une évolution de la profession d'Architecte en cohérence avec l'esprit d'un XXI^{ème} siècle déjà bien entamé et résolument numérique. Aujourd'hui, l'architecte n'est parfois plus le seul décisionnaire, et a du mal à faire valoir l'archétype du chef d'orchestre solitaire lorsqu'il intervient sur des projets complexes et à grande échelle. Son travail, bien qu'indispensable et constituant la pierre angulaire du

travail de réflexion -de la conception à la construction-, ne se suffit pas à lui-même, et il est de plus en plus nécessaire de collaborer avec l'ensemble des intervenants de l'équipe de maîtrise d'œuvre, d'une façon non séquentielle, qui nécessite une collaboration en temps réel. Ainsi, la notion de « profession libérale », pourrait être qualifiée dans une situation pareille « d'activité libérale », parmi d'autres activités partagées au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre, qui constitueraient des « groupements momentanés d'entreprises libérales »⁴⁴. Cela implique donc un travail de réflexion sur les outils numériques et les livrables afférents -et dont la maquette constitue la pièce maîtresse-, ainsi qu'une adaptation à ces derniers.

Cette réflexion ne peut se faire sans les architectes, et doit même être menée et coordonnée par ces derniers, au risque de perdre la maîtrise de leurs modalités de travail propres, qui a défaut d'être harmonieusement insérées dans un monde numérique, risquent d'être déconstruites au profit d'intérêts autres. L'architecture, en tant que profession, doit donc se saisir de cette digitalisation des actes de concevoir et de construire, afin de l'absorber et la guider en cohérence avec ses objectifs propres, par exemple, en intégrant avec ténacité cette réflexion au sein des écoles d'architecture, par la recherche, anticipant et maîtrisant ainsi, les impératifs inhérents aux nouveaux outils numériques.

41. Prost R., Chaslin F., " *Pratiques de projet en architecture : le tournant silencieux : essai* " Gollion, Infolio, 2014.

42. Tapie G., " *Les architectes : mutations d'une profession* " Paris, L'Harmattan (Logiques sociales), 2000

43. Simonin C., " *La fabrique de la norme et ses recompositions* ", dans " *Profession Architecte : Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Économie - Chantier* " Paris, Eyrolles, 2018, pp. 271-279.

44. Chesneau I., " *La profession libérale d'architecte* ", dans *Profession Architecte : Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Économie - Chantier* " Paris, Eyrolles, 2018

III

CADRE LÉGAL ET CONTRACTUEL

L'implémentation du BIM, au-delà de ses aspects financiers et méthodologiques, pose par ailleurs des défis d'ordre légal et contractuel :

- Le cadre juridique, quasi inexistant à l'heure actuelle, pose des défis en termes de droit d'auteur et droit des bases de données; défis qui peuvent constituer un frein au travail collaboratif dans la mesure où la fragmentation du travail tout au long du développement du projet et entre les parties impliquées, pose la question de la paternité de l'œuvre architecturale.
- Les potentialités de l'outil - notamment en termes de quantification et d'analyse allant au-delà du simple dessin géométral des espaces, et le travail sur une base de données commune - la maquette numérique - pose la question de la répartition des tâches, de l'étendue de la mission de

l'architecte et de sa responsabilité au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre.

Le BIM, dont le corollaire est la notion de collaboration, pousse à s'interroger sur l'étendue des missions de l'architecte dans un environnement de travail numérique et collaboratif, afin d'en dégager les points de vigilance, mais aussi les demandes qui sortiraient de son champ d'expertise ou du cadre de ses missions de base. En ce sens, les demandes les moins conventionnelles devraient être analysées avec la plus grande prudence, en articulation avec les responsabilités afférentes à l'acte de construire, et compétences propres de l'architecte. Cette analyse, en amont du travail de collaboration avec le maître d'ouvrage, permettrait à l'architecte d'une part de cadrer sa responsabilité par le contrat, et d'autre part de s'approprier ou de récupérer des missions qui historiquement lui

ont échappées par leur complexité. Se voient ainsi modifiés, les dispositifs contractuels inhérents à l'acte de construire.

Dans l'état actuel des réglementations et de la législation, et conformément aux préconisations incitatives et non coercitives du PTNB, puis du plan BIM 2022, le BIM revêt aujourd'hui une nature contractuelle, plutôt que juridique. Le contrat de maîtrise d'œuvre, et son indissociable pendant numérique, le BIM Execution Plan, permettent de cadrer de façon exhaustive et par écrit, les droits et responsabilités de chaque intervenant au projet, de telle sorte à mitiger les potentielles ambivalences quant à l'étendue des missions de chacun, leur apports respectifs, et leurs interventions au sein de la maquette numérique. Le BIM Execution Plan, en particulier, permet de poser des

définitions claires et précises sur le travail de chaque intervenant, sans pour autant amener de modifications fondamentales : les rôles des acteurs de la maîtrise d'œuvre, la maîtrise d'ouvrage, ainsi que les constructeurs et exploitants restent inchangés et ne sont pas interchangeables. Face à la crainte de potentielles dilutions ou confusions résultant du travail collaboratif au sein d'un même réceptacle -la maquette-, le contrat et le tableau de répartition des tâches restent des boucliers efficaces et fonctionnels.

Si les rôles et responsabilités entre les parties prenantes à un projet restent inchangés, ils nécessitent néanmoins d'être cadrés et contractuellement spécifiés en amont. Les potentialités de la maquette numérique -en termes de cas d'usage allant du 3D au 7D-, et qui vont au-delà de la simple projection d'un ouvrage, doivent

ainsi dans le contrat être explicitées de façon concertée entre la maîtrise d'ouvrage et l'équipe de maîtrise d'œuvre. L'étendue des tâches de chacun, ainsi que leur interrelations sont impérativement résumées dans un ou plusieurs schémas, inclus dans le BIM Execution Plan. Ces mêmes relations et responsabilités doivent par ailleurs être incluses dans les CCTP et CCAP, ainsi que le contrat de base, qui peut être opposable à tout document ultérieur ou annexe. Ainsi, il revient à la maîtrise d'ouvrage de fixer les cas d'usage et objectifs possibles de cette transformation numérique de l'acte de construire que permet le BIM.

Par ailleurs, la maquette numérique, nouvel artefact de la production architecturale et lieu dématérialisé de collaboration, pousse inévitablement à s'interroger sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle qui en découle.

Une utilisation du BIM n'affecte pas la propriété intellectuelle de l'architecte, qui reste propriétaire de sa création, bien que celle-ci soit consultable et utilisable par d'autres intervenants. Sur ce sujet, la pratique et la norme ISO-19650 veut que le BIM Execution Plan mentionne explicitement que le processus BIM et l'échange mutuel de données n'excluent pas le principe du droit d'auteur. Chaque partie conserve la propriété intellectuelle sur sa création. L'échange de données ayant pour seul but d'assurer la bonne réalisation du projet architectural, aucun autre e peut en découler. La maquette, œuvre numérique, mais aussi œuvre de l'esprit découlant d'un usage collaboratif, pose cependant la question de sa propre qualification. Dans le cadre d'un projet, où les acteurs collaboreraient en temps réel, d'une façon concourante et non séquentielle, au sein d'une même maquette, celle-ci

pourrait être définie non comme *œuvre collective* -cas courant- mais comme *œuvre de collaboration*, propriété des coauteurs. Elle pourrait aussi être qualifiée d'*œuvre composite* dans le cas d'un travail séquentiel et additif. Ainsi, l'architecte ne pourrait se prévaloir seul de la paternité d'un ouvrage, auquel auraient concouru, dès les premiers instants de conception, un ingénieur, ou un paysagiste. Cette configuration de copropriété de l'œuvre, est aujourd'hui très rare, dans le sens où les usages se portent sur une pratique du BIM en Niveau 2 -chaque intervenant travaille sur une maquette propre, qui est ensuite liée aux autres-, et non sur une pratique de Niveau 3 -tous les acteurs travaillent sur la même maquette-. Cela constitue néanmoins un point de vigilance, qu'il convient d'approfondir dans le cas d'un passage à une pratique de Niveau 3, en considérant les

conditions de création et d'évolution de la maquette. Un autre élément fondamental du BIM Execution Plan est la matrice des responsabilités. Il s'agit d'une interprétation du Tableau de Répartition des Tâches, portant sur les objets constitutifs de la maquette numérique. Par exemple, les objets mur structurel, poutre, dalle structurelle, poteaux, et fondations, sont dans le champ d'action du Bureau d'Etudes Structures, et sont spécifiées comme telles dans un tableau. Il serait intéressant que cette matrice, soit déclinée et reportée sur la propriété intellectuelle afférente à chaque acteur.

Le BIM ayant pour visée de créer à la fois un modèle numérique du projet, et une base de données des éléments le constituant, la maquette peut aussi être évaluée à travers le spectre juridique plus large du droit des producteurs de bases de données, lui-même protégé par le droit d'auteur. Un aspect intéressant du régime de protection que permet le droit des producteurs de bases de données est le droit d'interdiction de « l'extraction [...] d'une partie qualitativement ou quantitativement substantielle du contenu d'une base de données »⁴⁵.

Ainsi, à titre d'exemple, la maquette numérique, propriété intellectuelle de l'architecte, ne peut servir de support à l'extraction de quantités ou métrés en vue d'une estimation des coûts, sans l'accord de l'architecte. L'architecte reste ainsi maître de sa maquette numérique, et des conditions

de son utilisation et d'exploitation, qui pourront être définies dans le contrat de maîtrise d'œuvre.

L'ensemble de ces questions constitue un terreau fertile pour les juristes, et en ce sens, Maître Xavier Pican a constitué un groupe de travail afin de réfléchir aux enjeux relatifs à l'usage du numérique dans la construction, à la fois durant la conception, la réalisation, et l'exploitation d'un ouvrage. Le rapport Pican, ou Rapport Droit du Numérique & Bâtiment⁴⁶ constitue ainsi une référence autour des problématiques juridiques liées à l'usage du BIM. Ce rapport rendu en 2016, et dont le fruit a été une liste de douze recommandations, a abordé avec précision et pertinence les questions relatives au droit d'auteur, au droit des données, à la responsabilité des constructeurs, à la sinistralité, ainsi que celles relatives au potentiel de collecte

45. **Code la Propriété Intellectuelle**. Article L342-1

46. **Pican X.**, " *Droit du Numérique & Bâtiment* ", [En Ligne]
http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/Rapport_VF____droit_du_numerique_et_batiment.pdf

en masse de données personnelles, rendues possible par un usage 7D en phase d'exploitation -en faisant le postulat que les données d'utilisation, et donc des utilisateurs, peuvent au même titre que les données de maintenance, faire l'objet d'exploitation, voire de commercialisation-. Une attention particulière y est enfin accordée à la nécessaire anticipation d'un passage au BIM Niveau 3, mais aussi aux nouveaux rôles au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre.

IN

—

L'APPARITION DE RÔLES NOUVEAUX

La profession d'Architecte, à la lumière des mutations induites par la transition numérique, voit l'apparition de nouvelles activités et champs d'expertise autour la maîtrise et de l'implémentation du BIM. Le rôle du BIM Manager, en particulier, est devenu un incontournable des équipes de maîtrise d'œuvre travaillant sur des projets complexes et à grande échelle, nécessitant le concours de plusieurs intervenants.

Le BIM Manager est le garant du bon déroulement du processus BIM, et joue un rôle de maintenance de l'infrastructure numérique de travail de conception, afin de produire une maquette numérique intègre et exploitable selon les cas d'usages spécifiés dans le BIM Execution Plan. Sur la demande de la maîtrise d'ouvrage, le BIM Manager rédige le BIM Execution Plan et organise les

processus de collaboration en se basant sur le cahier des charges BIM fourni.

L'apparition relativement récente de ce rôle, articulée avec le manque de réflexion institutionnelle et académique autour de ses fonctions, produit aujourd'hui en France des profils de BIM Managers qui pour la plupart sont aussi ingénieurs, ou architectes, et qui se sont formés par la pratique et de façon autodidacte. Il existe depuis quelques années des formations post-cursus et des systèmes d'accréditation internationaux permettant de faire valoir des compétences de BIM Management, mais celles-ci restent relativement couteuses et difficiles à concilier avec une activité professionnelle à temps plein. À titre d'exemple, le Master Spécialisé BIM, Conception Intégrée et Cycle de Vie du Bâtiment et des Infrastructures de l'École des Ponts Paris-Tech nécessite

400 heures de cours étalées sur une année -à raison d'une semaine par mois-, et affiche des frais de scolarité allant de 14000€ à 17000€. Les accréditations internationales -de type BRE ou RICS-, moins contraignantes, nécessitent tout de même la validation de 90 heures de cours, ainsi qu'un investissement allant de 1000€ à 1500€.

Aujourd'hui, il s'agit d'une fonction que j'assume en parallèle de mon travail d'Architecte au sein du Studio Akkerhuis, et qui est le fait de circonstances relatives à une maîtrise, un intérêt et une curiosité pour les outils numériques. Cette double casquette à laquelle je suis attaché, représente à mes yeux une évolution nécessaire des compétences de l'architecte afin de conserver une conduite maîtrisée de son travail au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre,

sans concessions ou dépendances technologiques vis à vis de tiers. Puisque le Studio Akkerhuis est de taille moyenne et que l'ensemble des équipes ont une certaine compétence quant à la méthodologie induite par le BIM, cela reste une activité que je peux articuler et concilier avec le noyau dur de mon travail architectural. Cependant, ce type configuration n'est pas toujours pratiqué -faute de compétences, ou face à une grande charge de travail-, et il n'est pas inhabituel pour une agence, ou une maîtrise d'ouvrage, de recourir à un intervenant extérieur chargé du BIM.

Il existe aujourd'hui différentes écoles de pensée quant à l'intégration ou non, de l'activité du BIM Manager, au sein des agences d'architecture. La consultation d'appels d'offre privés et publics met en lumière l'apparition de plus en plus fréquente

d'un lot *BIM Management*, et que « ce lot est totalement séparé des autres lots du marché »⁴⁷. Il convient alors de s'interroger sur la légitimité de l'existence d'un tel lot, et s'il n'y a pas là un point de vigilance pour les architectes. Le flou qu'il existe entre mise en place et maintenance de l'infrastructure de collaboration numérique, et participation active au travail de conception, nécessite un éclaircissement quant aux prérogatives respectives du BIM Manager et de l'Architecte, dans le cas où leur activité seraient le fait de deux entités distinctes. Ainsi, si un professionnel des Sciences de l'Information et la Communication -SIC- peut intervenir de façon efficace au sein d'une équipe de maîtrise d'œuvre dans l'implémentation et le suivi d'une infrastructure numérique dédiée à l'usage du BIM, il ne saurait participer aux missions de conception,

de coordination, ou de synthèse architecturale; dont les deux dernières peuvent encore aujourd'hui se retrouver dans les missions du BIM Manager.

La présence d'un BIM Manager Général, dans le cadre de projets complexes et de très grande envergure, si elle est requise afin de mener à bien la coordination des différents acteurs, ne doit pas se substituer au besoin de montée en compétences de l'architecte, mais aussi de l'ensemble des intervenants de la maîtrise d'œuvre. Dans un tel cadre, la maîtrise du BIM permet à l'architecte non seulement de conserver ses prérogatives initiales au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre, mais aussi d'élargir son champ de compétences afin de mieux cerner les tenants et les aboutissants des nouvelles pratiques de conception numérique. « L'efficacité, la logique et le fait qu'ils

sont les seuls acteurs à disposer d'une approche globale de l'acte de construire, font des architectes les BIM Managers naturels et logiques, dans un dialogue ouvert ou chaque ingénierie pourra exprimer plus aisément son savoir et sa compétence ».⁴⁸

Il s'agit là d'un point qui est au cœur même de la mission de l'architecte, qui « entretient et améliore sa compétence; il contribue et participe à cet effet à des activités d'information, de formation et de perfectionnement, notamment à celles acceptées par l'ordre des architectes. »⁴⁹ Ainsi, la formation aux nouveaux outils numériques en vue de leur maîtrise, qui conditionne de façon croissante l'accès à la commande, apparaît comme un élément déterminant pour l'avenir de la profession. L'époque actuelle, qui en marque un tournant majeur, met en lumière sa nécessaire adaptation

afin de survivre dans une économie caractérisée par une macrocéphalie numérique.

In fine, les rôles et prérogatives du ou des BIM Managers au sein d'un projet, qui sont encore parfois flous, sont destinés à se préciser et à se spécialiser, au fur et à mesure de la montée en compétences des différents intervenants à l'acte de construire. C'est une piste qui a été explorée par Xavier Pican dans son rapport Droit du Numérique & Bâtiment⁵⁰. S'il n'est pas favorable en l'état actuel, dans le cadre d'une utilisation du BIM en Niveau 2, à la création d'un nouveau métier de BIM Manager, il fait l'hypothèse qu'avec le développement d'une utilisation de Niveau 3, où tous les acteurs travailleraient sur le même support, il sera nécessaire de recourir systématiquement à un BIM Manager externe à l'équipe de conception.

48. **Ordre des Architectes**, " *Le BIM, une évolution révolutionnaire?* ", [En Ligne] <https://bimgestiondupatrimoine.files.wordpress.com/2014/02/2014-01-15-note-bim-1.pdf>

49. **Code de Déontologie des architectes**. Chapitre Ier, Titre II, Section 1, Art. 4

Le rapport justifie ce recours avec le fait qu'aujourd'hui, le travail en Niveau 2 sur des maquettes spécifiques à chaque intervenant, permet de garder la gestion BIM de celles-ci en interne; chaque bureau d'études ou de maîtrise d'œuvre demeurant responsable de sa propre modélisation et des données qui y sont intégrées. Une utilisation de Niveau 3 nécessite cependant le recours à une figure d'autorité externe et impartiale, afin que le travail collaboratif se fasse dans de bonnes conditions. Enfin, le cas d'usage 7D, qui requiert une veille technologique continue quant à la maintenance et à l'exploitation des données d'un ouvrage, nécessitera sans doute l'intervention de professionnels de la gestion et de l'exploitation des données. Ainsi, sur cette question, le rapport prévoit l'apparition de BIM Data Managers, ayant pour tâche de gérer et exploiter les données

numériques d'un ouvrage, durant les phases de conception, de construction, et d'exploitation, sans y prendre part. Dans le moyen à long terme, le rôle du BIM Manager dans son acception actuelle, sera donc destiné à se scinder: D'une part, une maîtrise d'œuvre ayant une compétence professionnelle numérique complète, lui permettant d'agir, de concevoir et de créer des ouvrages bien coordonnés et singuliers au sein d'environnements numérique standardisés, et d'autre part, des Data Managers spécialisés en ouvrages construits, destinés à fournir le support et l'infrastructure requis pour le bon déroulement des phases de conception, de construction et de maintenance.

50. **Pican X.**, " *Droit du Numérique & Bâtiment* ", [En Ligne] http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/Rapport_VF____droit_du_numerique_et_batiment.pdf

VERS UNE ÉVOLUTION POUR LE
CADRE DE LA PROFESSION

I

—

DÉFIS ORGANISATIONNELS
ET NOUVELLES
MÉTHODOLOGIES DE TRAVAIL

Les promesses du BIM en termes d'efficacité, de coordination et de réduction des coûts, s'accompagnent néanmoins dans un premier temps de pertes relatives au temps d'adaptation et de maîtrise d'outils nouveaux. Cette transition est par ailleurs caractérisée par un coût non négligeable et un investissement de départ conséquent, tant en parc informatique qu'en licences logicielles et formations des collaborateurs.

Cette évolution technologique a donc des impacts qui ne sont pas toujours maîtrisés, en particulier pour les petites agences, dont l'investissement de départ est compliqué à rentabiliser à court ou à moyen terme:

Le passage au BIM, passe invariablement par un renouvellement du parc informatique et des logiciels qui demandent énormément de

ressources car traitant l'information en trois dimensions. Il y a à la fois un coût inhérent à l'achat de machines plus puissantes et modernes, et un coût inhérent aux logiciels qui, puisque novateurs, voient le prix de leurs licences d'utilisation exploser. Au-delà de cet investissement susceptible de générer un affaiblissement financier, il faut par ailleurs composer avec le nécessaire temps d'adaptation des architectes collaborateurs à une nouvelle utilisation de l'outil informatique, qui génère des pertes en efficacité du travail. Si le passage de la table à dessin physique à la table à dessin numérique lors de la première phase de la transition numérique avait déjà généré quelques difficultés et réticences, celles-ci se voient décuplées car il ne s'agit pas ici de déplacer le geste créatif d'une réalité physique et une réalité numérique. Il s'agit de repenser totalement la façon

de concevoir, passant du paradigme d'un dessin classique en plans, coupes, et élévations -parfois dissociées et pouvant générer des erreurs de coordination-, à une logique de modélisation totale, considérant le projet, les espaces et volumes créés, dans leurs trois dimensions. C'est ainsi l'apparition d'une discipline de la sculpture numérique dont il s'agit, nécessitant une cohérence de la pensée, et s'apparentant à un travail hybride, mobilisant à la fois le dessin géométral en projection et le travail volumétrique de la maquette comme outil de visualisation, de vérification, et d'adaptation en temps réel de l'idée initiale.

Il est donc nécessaire que les agences d'architecture désirant sauter le pas, mettent en place une réelle stratégie du changement en définissant les délais pour celui-ci ainsi que son ampleur, en

faisant un état des lieux des méthodes existantes dans l'agence, et en pensant la légitimité de leur conservation dans le cadre d'une transition numérique.

Il est aussi nécessaire que la volonté de changement émane et soit portée par tous les acteurs de l'agence d'architecture, toutes générations confondues. Si la maîtrise de l'outil de modélisation en soi n'est pas forcément indispensable pour tous -dans le cas d'agences segmentant par équipes les phases de conception, d'études approfondies, et d'opération de chantier-, il est néanmoins impératif que tous aient une compréhension claire et limpide du BIM comme processus et méthode de travail structurée et structurante. Un projet d'architecture est susceptible de faire intervenir de multiples acteurs sur les différentes phases, au sein de l'agence, mais aussi et surtout au sein de l'équipe

de maîtrise d'œuvre. Le projet peut aussi connaître une évolution des données et idées de départ, ainsi qu'une multiplicité anarchique d'outils et de formats de travail non centralisés, nécessitant des saisies multiples d'information, générant des pertes de temps et des erreurs, et donc des coûts supplémentaires pour tous. Le BIM porte la promesse de résoudre cette inefficacité de la contingence, mais pour cela, il faut que les acteurs du projet mettent la collaboration comme méthode au centre de leurs préoccupations, en travaillant autour d'un même outil, renseigné de façon progressive. C'est ainsi que l'ensemble des intervenants au projet, architectes comme bureaux d'études, participeront de façon cohérente à la conception du projet dans toute sa durée, avec une capitalisation importante d'une information géométrique et alpha numérique non redondante, au sein

d'une maquette BIM unique et intégrée. Nous parlons de « single source of truth »⁵¹, puisque chaque dessin -qui *in fine* est une association de lignes, traits et pochages abstraits- est extrait de la maquette où l'information géométrique est cohérente et vérifiée en trois dimensions.

Cette importance primordiale de la collaboration et du travail itératif en temps réel a été comprise et intégrée par les éditeurs de logiciels qui proposent depuis déjà quelques années des plateformes collaboratives et dématérialisées dans le cloud -BIM360, Autodesk Construction Cloud- afin que l'équipe de maîtrise d'œuvre puisse travailler autour d'un environnement commun. Il a par ailleurs été cité plus haut l'action du gouvernement afin de proposer une plateforme publique -KROQI- qui pour le moment n'est pas réellement démocratisée, probablement

51. **Anglicisme:** Utilisé afin de définir et décrire une maquette BIM, comme seule source fiable, et contenant toutes les informations relatives au projet.

car elle arrive trop tard sur un marché où les compagnies privées à l'ancienneté importante comme Autodesk, sont déjà confortablement installées.

L'importance de la collaboration a aussi été comprise par de nombreux architectes.

Ainsi, Olivier Arene, architecte associé de l'agence 2/3/4 Architecture, décrit cette importance en ces termes⁵² :

« Les membres de la maîtrise d'œuvre vont enfin re-travailler réellement ensemble et de façon concertée et maîtrisée »

...

« Nos partenaires ingénieurs sont ainsi obligés de concevoir leurs ouvrages en étroite collaboration avec l'architecte, non seulement en 3D mais également, et c'est là le plus important, de façon coordonnée entre eux (gros œuvre, fluides et "enveloppes" du bâtiment) et en assurant la synthèse générale dès la conception. »

...

« J'insiste néanmoins sur l'étroite collaboration qui doit redevenir la règle entre les divers acteurs de la MOE. Sans architecte, pas de projet architectural, mais sans ingénieurs, pas de réalisation de qualité! Il est impératif que les architectes et les ingénieurs contractent ensemble en se constituant en équipe unie et solide. »

52. **Arene O.,** " *Le BIM est la dernière chance des architectes de re-devenir les maîtres d'œuvre qu'ils ont cessé d'être* ", AMC Archi, 2015, [en ligne]

<https://www.amc-archi.com/article/le-bim-est-la-derniere-chance-des-architectes-de-re-devenir-les-maitres-d-uvre-qu-ils-ont-cesse-d-etre-par-olivier-arene-architecte,1552>

Ce sont donc les notions de conception, de coordination, de synthèse, de réalisation et d'exploitation qui se retrouvent au cœur des questionnements et défis posés par le BIM.

Au-delà des équipes de maîtrise d'œuvre, ce sont aussi les maîtrises d'ouvrages qui se retrouvent devant la nécessité d'une mise à jour et une digitalisation qui semble inéluctable au vu des attentes et exigences toujours plus complexes que connaît le monde de la construction. Si la maîtrise d'ouvrage peut être attirée aujourd'hui par l'utilisation du BIM, c'est souvent sans réelle intention au-delà de l'effet de mode, ou de groupe. Il s'agit d'un constat que j'ai pu faire en travaillant sur le projet du Pathé Palace, projet franco-français, tant pour l'équipe de maîtrise d'œuvre que pour la maîtrise d'ouvrage, et où seuls les

architectes du Renzo Piano Building Workshop avaient une idée précise de ce qu'impliquait une méthodologie de travail BIM, ainsi que ses potentialités en termes de Gestion et Maintenance Assistée par Ordinateur -GMAO-, durant le cycle de vie du bâtiment. Bien qu'étant accompagné par un AMO, qui avait pour charge de contrôler et valider la conformité architecturale et spatiale du projet quant aux attentes initiales, le maître d'ouvrage n'avait pas d'idées précises sur ses besoins, d'une part en termes de quantification et estimation des coûts avant la signature des marchés de travaux, et d'autre part, en termes de pilotage de chantier lors de la réalisation, et en termes de gestion et maintenance de la construction post achèvement.

Le rôle de l'architecte, et la parfaite maîtrise de ses outils sont ici essentiels, et sont le terreau d'une reconquête d'un devoir de conseil -parfois réduit à une invitation à la direction artistique-, afin de guider la maîtrise d'ouvrage dans la réalisation efficace de son projet. Il convient alors de l'accompagner dans la précision de ses attentes et besoins quant à la maquette BIM, afin d'établir une stratégie claire, et par la même occasion, affirmer et concrétiser la valorisation de compétences nouvelles, avec éventuellement une révision d'honoraires selon les besoins de la maîtrise d'ouvrage. C'est à la fois une conciliation et une réconciliation du travail de création de l'architecte, avec les impératifs techniques du monde de la construction, essentiels à la bonne réalisation d'un projet.

Cette digitalisation de la maîtrise d'ouvrage, est déjà pleinement amorcée et développée en dehors des frontières françaises. En travaillant sur le projet de bureaux et siège social situé Rue de Londres, dont le maître d'ouvrage est un acteur majeur et pionnier des nouvelles technologies, de l'intelligence artificielle et de la structuration de données, j'ai pu faire rétrospectivement le constat à la fois d'un désamour pour le BIM chez la maîtrise d'ouvrage française -et le monde de la construction en tant que discipline intégrant tous les acteurs de l'acte de construire-, mais aussi, le risque que comporte l'application de standards BIM inadaptés et difficilement applicables aux marchés français. Dans l'espèce, le Studio Akkerhuis mène la mission de maîtrise d'œuvre, mais aussi la mission de BIM Management que je mène personnellement, de concert avec mon travail de conception

architecturale. Le maître d'œuvre a communiqué un EIR -Employers Information Requirements-, document s'apparentant à un cahier des charges BIM précisant ses attentes, ainsi que les standards applicables, standards anglo-saxons. Le Studio Akkerhuis a en retour produit un BIM Execution Plan -aussi appelé Charte BIM- détaillant la réponse aux attentes du EIR, ainsi que les solutions proposées. En l'absence de standards concrets et démocratisés quant à l'utilisation du BIM dans le cadre de marchés Français, pouvant s'insérer dans un contexte d'échanges internationaux standardisés, le travail consistait à faire un effort de traduction et de correspondances, avec des blocages irrémédiables, le processus BIM ayant parfois du mal à trouver sa place au sein de l'acception française du déroulement d'une mission de maîtrise d'œuvre telle que définie par la loi MOP. Il y a là le nécessaire besoin de

se saisir de la question, et de mener une réflexion autour d'une adaptation possible de la pratique française de l'architecture, mais aussi des processus BIM existants, afin d'insérer de façon cohérente la pratique des architectes français dans un contexte international toujours plus mondialisé.

Enfin, l'implémentation du BIM pose aussi des défis aux grands acteurs français du monde de la construction: les entreprises de construction, non comme entités séparées, mais comme secteur. Ici encore, j'ai pu faire le constat d'une certaine impréparation quant à la progression tentaculaire du BIM en France. J'ai eu pour tâche durant l'été 2021 de rédiger le BIM Execution Plan pour le projet De Beyart, réhabilitation lourde d'un monastère en une résidence seniors, à Maastricht aux Pays Bas. La rédaction de ce document m'a permis de mettre

en application le concept de Système de Classification Standardisé. Un système de classification est un moyen de décrire des entités de construction d'une manière normalisée. Un système de classification trie une série d'objets en différentes classes composées de membres ayant des propriétés spécifiques. Une classe est une construction conceptuelle faisant référence à une collection d'objets ayant une ou plusieurs propriétés en commun. La classification organise les classes les plus générales aux niveaux supérieurs qui sont également connus comme les niveaux racines. Puis, des classes plus spécialisées et détaillées sont organisées aux niveaux inférieurs sous la forme d'une arborescence structurée.

Divers systèmes de classification de la construction ont été développés par différents pays et institutions, avec le concours du secteur de la construction, tels que SfB et BSAB en Suède, Uniclass au Royaume-Uni, Building 90 en Finlande, MasterFormat ou OmniClass en Amérique du Nord, et le NL/SfB aux Pays Bas. Rob Howard, professeur à l'Université Technique du Danemark, estime que si la conformité internationale améliore la collaboration entre les pays, un système national bien défini est nécessaire pour les besoins locaux⁵³, permettant de réaliser la promesse du BIM et son application pratique dans le cadre de projets coordonnés et construits sans perte d'information. Dans un rapport publié suite à une conférence donnée à l'Université Sophia Antipolis, Anders Ekholm et Lars Haggstrom ont par ailleurs expliqué que dans les projets de construction internationaux et le

commerce de produits, il est nécessaire de traduire les systèmes de classification nationaux et de développer un système commun et fédéré.⁵⁴

Ces standards de codification font partie de standards plus globaux qui adressent la question du traitement des informations relatives à une construction ainsi que leur chaîne de transmission. L'une des premières initiatives date de 2006, aux États-Unis, où l'Administration Générale des Services -GSA- a rédigé des standards nationaux en termes de BIM : NBIMS-US⁵⁵. En 2008 l'Angleterre, a introduit la norme BS-1192-BIM. C'est sur cette norme que l'organisation ISO s'est appuyée afin d'unifier et codifier les échanges BIM au niveau international, avec la création de la norme ISO 19650,

portant sur la Gestion de l'information à l'aide de la modélisation des informations du bâtiment. Aujourd'hui, dans ma pratique, il est systématique que cette norme soit citée dans des contrats de maîtrise d'œuvre en France, sans qu'elle ne trouve un réel champ d'application car basée sur la pratique anglo-saxonne. En Angleterre, la clarification du cadre d'utilisation du BIM et des responsabilités des différents acteurs permise par cette norme, a permis de réaliser des économies de l'ordre de 22% dans le secteur de la construction.⁵⁶

Il n'existe à ce jour -en 2022- en France aucun système permettant la classification des éléments du monde bâti, qui soit adapté aux pratiques constructives françaises et qui tienne

compte des exigences des DTU. Il y a là un travail de coordination générale à effectuer afin de simplifier les échanges entre les équipes de maîtrise d'œuvre et les entreprises chargées de la construction. Cela permettrait de fluidifier les processus de travail, tout en donnant à la méthodologie du BIM une réelle légitimité et des résultats plus concrets et tangibles. Si l'on prend pour exemple le cas d'une fenêtre de toit destinée à être installée sur un projet quelconque, celle-ci pourra être nommée « lucarne » en phase de conception. Puis le maître d'œuvre d'exécution, suivant une éventuelle demande de la maîtrise d'ouvrage, rajouterait au modèle une fenêtre supplémentaire du même type en la nommant « Sky Light ». Sans système structurant de codification

commun permettant une continuité de l'information, la maquette BIM, lorsque remise à l'entreprise, bien que renseignée, ne permet pas la quantification ou l'analyse des données qui y sont présentes, créant ainsi des pertes en efficacité, en temps, et *in fine* une avarie du processus BIM. De mon expérience des cinq années passées, j'ai constaté qu'il était quasi systématique pour une entreprise de reprendre entièrement la modélisation d'une construction en phase d'exécution, car bien que coûteuse en ressources et en temps, celle-ci représente une tâche moins ardue et chronophage qu'un travail de débroussaillage.

54. Ekholm, A., & Häggström, L., " *Building classification for BIM – Reconsidering the framework.* ", 2011

55. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K., " *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors.* " New Jersey, Wiley, 2011

56. BimInMotion, " *De Nouveaux Standards Internationaux en BIM* ", [En Ligne] <https://www.biminmotion.fr/le-blog-bim/nouveaux-standards-internationaux-bim>

Ainsi, l'implémentation du BIM à une échelle nationale -qui fait partie des objectifs des quinquennats précédent et actuel- doit faire intervenir le spectre entier des intervenants à l'acte de construire dans son acception la plus large. La méthodologie induite par cette technologie nécessite une uniformisation des standards pour le BIM à l'échelle nationale, qui sont aujourd'hui beaucoup trop variés, inadaptés aux marchés français, ou souvent propres à chaque agence. Il s'agit d'un travail qui doit être mené de front par les architectes, afin d'éviter que l'architecture en tant que discipline et profession libérale, ne se fasse phagocyter par les intérêts -souvent pécuniaires- des grands groupes de constructeurs, ou des bureaux d'études.

II

—

QUELS IMPACTS SUR LA RESPONSABILITÉ DE L'ARCHITECTE ET SES ASSURANCES

Le BIM, puisqu'il s'accompagne de nouveaux processus collaboratifs, pose indéniablement la question de la responsabilité de l'architecte, et interroge sur une potentielle évolution des systèmes assurantiels actuels. Par ailleurs, la constitution d'une base de données commune, caractérisée par une traçabilité numérique des informations et des interventions, ouvre des perspectives quant à une utilisation du BIM en termes de sinistralité et de maîtrise des risques inhérents à l'acte de construire. Le BIM tel qu'il est pratiqué aujourd'hui en Niveau 2, et s'accompagnant de dessins renseignés, contrôlés et visés par l'architecte conformément aux usages, ne constitue pas, a priori, de menace ou de reconfiguration quant aux responsabilités civile et décennale du maître d'œuvre. Il est néanmoins indispensable que la répartition des tâches et des responsabilités soit

claire et limpide au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre. En ce sens, le Rapport Droit du Numérique & Bâtiment, présente comme « principale inquiétude [quant à l'usage du BIM], la répartition de la responsabilité entre les contributeurs de la maquette. »⁵⁷

Si aujourd'hui la responsabilité de l'architecte est de facto engagée dans le cas de litiges, cela pourrait être amené à évoluer à l'avenir, au regard des possibilités de traçage et d'enquête immédiate que fournit l'outil numérique. Afin de prévenir de façon plus précise un risque de sinistre, et d'en déterminer le ou les responsables le cas échéant, la démarche et la méthodologie du BIM se positionnent comme des alliées des architectes au regard de la lourde responsabilité qu'ils endossent au sein de la maîtrise d'œuvre.

57. **Pican X.**, " *Droit du Numérique & Bâtiment* ", [En Ligne]

http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/Rapport_VF____droit_du_numerique_et_batiment.pdf

Les possibilités de coordination et de synthèse poussées, continues, et mises en place dès les premiers instants de conception, au sein d'une interface commune, associées à une fluidification des échanges, participent par ailleurs à un meilleur degré de détection des discrepancies et incohérences entre les travaux des différents intervenants. Cela a pour effet à la fois de réduire les retards de chantier -qui peuvent être imputables à l'architecte et engager sa responsabilité-, mais aussi de prévenir d'éventuels désordres par une analyse antérieure à leur apparition, et à la construction de l'ouvrage. Ainsi, de la même façon qu'il est possible de procéder à des ingénieries de désenfumage afin de déroger à certaines règles prévues par la réglementation relative à la sécurité et la sûreté incendie, il est possible d'imaginer qu'à l'avenir, l'utilisation du BIM de façon prospective,

permette un assouplissement des règles relatives aux responsabilités et à l'assurance du maître d'œuvre, sans que cela ne le dispense d'avoir recours à une assurance telle que défini par la loi Spinetta⁵⁸. Il est aussi possible d'imaginer les assureurs avoir recours à des simulations économiques du risque, en se basant sur les potentialités de la maquette numérique, afin de proposer des polices d'assurance avec un prix révisé, cohérentes avec la nature du projet, et les risques potentiels qu'il serait amené à connaître. Cette potentielle révision est tout de même à nuancer; en effet, l'usage du BIM dans un environnement informatique totalement dématérialisé apporte des risques inhérents à l'usage de l'outil informatique tels que la perte des données, le risque d'attaques malveillantes, le dysfonctionnement du système informatique, ou encore, l'erreur humaine de saisie.

58. **Loi n° 78-12 du 4 janvier 1978**, relative à la responsabilité et à l'assurance dans le domaine de la construction

Sur ce dernier risque, il faut ainsi prêter une attention toute particulière aux possibilités d'assistance à la production -exports de documents en masse pour la constitution de dossiers, sans vérification ultérieure du dessinateur-, qui peuvent être à double tranchant, et avoir pour résultat la diffusion d'erreurs se dupliquant à l'infini et se répercutant sur le bon déroulement du projet. En tout état de cause, Il s'agit de s'approprier un outil supplémentaire afin d'apprécier la sinistralité, qui ne peut se substituer ou supplanter les dispositions prévues par la législation, et plus spécifiquement le code des assurances, telles que les déclarations de risque ou de circonstances nouvelles.⁵⁹

Enfin, dans le cas d'un sinistre, l'accès à la maquette permettrait à l'assureur, ou à l'expert judiciaire, d'apprécier de façon plus précise les conditions qui ont mené à son apparition. « Le

BIM devrait faciliter les expertises et aussi les recherches d'imputabilité de responsabilité car les contributions sont en principe traçables »⁶⁰. Ainsi, la possibilité d'extraire les différents échanges et interventions sous la forme d'un journal structuré, associée à des possibilités de simulation et d'analyse poussées, permettrait de localiser précisément l'origine d'un sinistre, et de définir si celui-ci est dû à une erreur de conception, ou à un défaut d'exécution.

Il serait à la fois ambitieux et naïf de considérer que l'usage du BIM marquerait la disparition d'une sinistralité consubstantielle de l'acte de construire. Il s'agit néanmoins d'une amélioration notable, d'un outil additionnel d'aide à la prévention, permettant la réduction de risques ou de désordres qui seraient le fait d'une synthèse incomplète ou d'une coordination lacunaire.

59. **Code des Assurances**, Article L.113-2

60. **Pican X.**, " *Droit du Numérique & Bâtiment* ", [En Ligne] http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/Rapport_VF____droit_du_numerique_et_batiment.pdf

III

—

LE BIM COMME TERRAIN DE
RECONQUÊTE

Historiquement, la profession d'Architecte a connu des appauvrissements successifs et répétés quant aux prérogatives et tâches confiées à l'architecte, en raison d'une complexification des projets, des réglementations, et des attentes des maitrises d'ouvrage.

L'usage et la maitrise du BIM, peuvent se positionner aujourd'hui comme des facteurs clés, permettant à l'architecte de partir à la reconquête de missions qui ont historiquement été écartées de son champ d'action, mais aussi de faire valoir des compétences et une expertise nouvelles. Le tournant majeur que représente la transition numérique, s'accompagne aujourd'hui de la nécessité d'une transition énergétique et environnementale, conditions indispensables à une évolution soutenable de la profession dans un contexte d'urgence climatique.

À l'aune de l'entrée en vigueur de la RE2020 -s'étalant du 1er Janvier 2022 au 1er Janvier 2023 selon les typologies d'ouvrages concernées-, il paraît indispensable que l'architecte se saisisse des attendus de cette nouvelle réglementation, les absorbe et les mette en pratique, afin de conserver la maitrise du projet architectural. « À travers la Réglementation environnementale 2020, le Gouvernement cherche à réduire les émissions de gaz à effet de serre de la construction neuve [...] Pour cela, la RE2020 apporte une innovation majeure : pour la première fois elle tiendra compte des émissions du bâtiment sur toute sa durée de vie, de sa construction jusqu'à sa démolition. On parle d'analyse en cycle de vie (ACV) dynamique. »⁶¹ Cette contrainte réglementaire, inédite, représente un terrain pour lequel l'usage et la maitrise du BIM -et ses capacités

Ministère de la Transition Écologique, " RE2020, Éco-Construire pour le Confort de Tous "
[En Ligne]

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2021.02.18_DP_RE2020_EcoConstruire_0.pdf

d'organisation, de quantification et de projection dans un cas d'usage 6D-, serait en faveur de l'architecte qui conserverait une maîtrise du projet architectural. Sur ce sujet, les bureaux d'études pluridisciplinaires ont déjà une expertise, et s'organisent afin d'inclure l'analyse en cycle de vie dans leurs missions. Et cela pourrait représenter un danger d'appauvrissement de la profession : dans le cadre d'un projet, le parti pris conceptuel est dicté, ou plutôt, orienté par des contraintes structurelles, logistiques, réglementaires, budgétaires, et environnementales. Si l'ensemble de ces sujets sort des attributions du maître d'œuvre au profit de bureaux d'études pluridisciplinaires -de type AIA Life Designers ou T/E/S/S-, l'architecte pensant déléguer ces tâches, risque une dépossession progressive de son périmètre d'action et des missions qui lui sont attribuées.

Tel l'inévitable prémonition d'un oracle, ce renversement des rapports de force pourrait conduire la profession à connaître ce que certains craignent le plus avec une généralisation du BIM: l'appauvrissement de la proposition architecturale et du champ d'action de l'architecte maître d'œuvre. Le BIM, si maîtrisé, peut néanmoins constituer un langage à l'intérieur duquel l'architecte retrouvera un pouvoir d'action, un rempart technique afin d'exprimer sa créativité et son originalité tout en répondant aux complexes exigences de l'époque. Cette approche peut ainsi se décliner et s'appliquer à d'autres exigences que requiert une architecture résiliente et post-carbone, comme le réemploi de matériaux lors de projets de réhabilitation. En ce sens, sur le projet de bureaux situé Rue de Londres, le Studio Akkerhuis travaille en concertation avec une Start-Up -Cycle Up- spécialisée dans

le réemploi de matériaux, ainsi qu'avec un géomètre expert -Gexpertise-, chargé d'effectuer un relevé du bâtiment existant et d'en fournir une maquette numérique. Le géomètre, par le biais d'une modélisation phasée et renseignée, fournira une maquette où il sera aisé d'isoler les éléments destinés à être curés ou démolis. La Start-Up, sur la base de cette maquette, pourra établir une liste exhaustive d'éléments constructifs et mobiliers pouvant être réemployés. Ce travail complexe, bien qu'étant à ses prémices, nous permet aujourd'hui d'annoncer une valeur prévisionnelle de 1186 Tonnes de CO₂ évités, équivalents à l'impact carbone de la construction de 1824 m² de bureaux neufs.

Cette opportunité à saisir, au-delà de la dimension environnementale, peut permettre à la maîtrise d'œuvre architecturale de réintégrer en son sein

d'autres activités qui ont été éloignées de son champ de compétences. L'Analyse en Cycle de Vie s'appuie en premier lieu sur un quantitatif précis des éléments constitutifs d'un ouvrage, auquel sont appliqués des coefficients relatifs à leur empreinte carbone, en termes de production, de mise en œuvre, de consommation, et de renouvellement. Sur la base de quantités précises, l'économie du projet, ainsi que la prévision des coûts pourront elles aussi être réintégrées au sein du périmètre d'action de l'architecte. Et cela pourra permettre de faire valoir ces compétences sous la forme de missions complémentaires, mais surtout, de penser le travail de mise en forme et d'idéation architecturale à la lumière des contraintes économiques afin de répondre efficacement aux attentes de la maîtrise d'ouvrage.

Enfin, les possibilités qu'offre le BIM dans un cas d'usage 4D -en termes d'anticipation chronologique et de planification de chantier-, associées à une coordination et une synthèse efficaces et menées dès les premières phases, ainsi qu'une bonne maîtrise des coûts, permettraient à la maîtrise d'œuvre d'asseoir sa légitimité en phase d'exécution et de se la réapproprier, évitant ainsi de potentielles dénaturations du parti pris initial.

La rédaction de ce texte a été pour moi un moyen de mener une réflexion globale sur ma pratique à l'aune des mutations numériques, fondamentales et systémiques que connaît notre culture, et qui touchent tous les secteurs d'activité, dont l'architecture et la construction. Il s'agissait aussi de porter un regard sur la profession d'Architecte, avec les yeux et l'expérience d'un Digital Native⁶², dont les outils numériques, à la manière d'un langage, se positionnent dans une continuité cognitive du processus d'idéation et de création architecturale.

Les enjeux et défis posés par le BIM aujourd'hui, sont ceux de son appropriation et de sa maîtrise. C'est penser l'acte libre de conception, dans un passage d'une raison graphique bidimensionnelle à une raison volumétrique tridimensionnelle au sein d'un environnement numérique

normé. Il s'agit d'appréhender un outil nouveau, afin d'en faire le véhicule d'une force d'imagination, de proposition, et de mise en forme spatiale. Il s'agit de penser une habile continuité entre la technique et la forme, au sein d'un changement de paradigme où le travail de conception fragmenté en deux dimensions sur différents supports, fait place à un travail volumétrique, unifié et coordonné, au sein d'un support unique: la maquette numérique. Il s'agit aussi pour l'architecte, de se réconcilier avec les aspects de la maîtrise d'œuvre qui lui ont historiquement échappé, afin d'asseoir sa position centrale et indispensable au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre.

La transition numérique, appliquée aux ouvrages construits en s'appuyant sur le BIM et le VDC, amène à l'architecture en tant que profession un cadre de

62. Un Digital Native est une personne ayant grandi dans un environnement numérique. Les premiers enfants du numérique sont nés entre la fin des années 1980 et le début des années 1990.

réflexion certes difficile à appréhender, mais aussi stimulant par les nouvelles possibilités qu'offrent les avancées technologiques et leurs possibilités d'organisation du travail conceptuel.

L'architecture est un champ d'investigation dont le langage, la sémantique et la pratique se situent à l'intersection de plusieurs disciplines et aspects de l'expression. Et afin de mener à bien son idéation spatiale initiale et de la voir réalisée, l'architecte se doit d'engager avec humilité des efforts de formation, d'adaptation et de maîtrise de sa technique, afin de faire valoir son art. Face à des situations où l'architecte voit son autorité et son périmètre de compétence disputés par des professions à expertise technique -ingénierie, économistes-, et notamment en France où la profession d'architecte est pensée dans des écoles sans culture d'ingénierie ou de

recherche, la conduite du projet et du chantier représente pour la maîtrise d'œuvre un terrain de reconquête, une activité de coordination d'acteurs ayant des métriques et des expertises hétérogènes, et dont le BIM constitue un outil de coopération et de coordination, notamment en phase d'exécution.

Cette année de formation à l'habilitation à la maîtrise d'œuvre - ainsi que la variété des thématiques et sujets abordés -, m'a permis d'enrichir mon socle de connaissances professionnelles, mais aussi d'associer ma pratique -et ses outils-, avec les défis que pose l'acte de construire dans un contexte de transitions énergétique, écologique et numérique. En ce sens, et dans l'articulation de ces transitions, si le BIM constitue à mes yeux l'instrument de pensée permettant de formaliser l'idée spatiale, la pensée elle

même ne peut être qu'engagée et tendre vers une sobriété énergétique, une économie des moyens et des démarches écologiques dans des environnements post-carbone. Après cinq années de pratique en agence d'architecture, j'envisage mon projet professionnel en plusieurs étapes. Jusqu'à présent, je n'ai que rarement eu l'occasion d'aborder les phases de chantier, qui constituent pourtant la finalité que tout travail de conception cherche à atteindre. Cela fait partie de mes objectifs pour le court à moyen terme. Je jouis aujourd'hui d'une position centrale au sein du projet de bureaux situé Rue de Londres, et le calendrier prévisionnel de celui-ci me permet de me projeter à court terme dans l'univers du chantier, l'ambition étant de livrer l'ouvrage avant les Jeux Olympiques de 2024. Je pourrais ainsi explorer les potentialités des outils de conception et de construction virtuelles, dans le cadre

de la fabrication d'ouvrages. J'ai pu avoir dans ma pratique de brefs aperçus de celles-ci -en termes de pilotage et de gestion du chantier, mais aussi en termes de fabrication automatisée, ou d'aide à la fabrication-, et la nature du ce projet de bureaux, sa taille, et l'appétence de la maîtrise d'ouvrage pour les nouvelles technologies me permettraient de mener cette exploration dans de bonnes conditions, qui je l'espère, seront enrichissantes.

À l'égard du temps long, je souhaiterais avoir l'opportunité de développer une pratique libérale mais raisonnée, de manière indépendante, ou en association. Pour cela, je pense que quelques années supplémentaires d'exercice au sein d'une agence d'architecture seront bénéfiques, et me permettront de nourrir davantage ma vision et de préciser mes ambitions.

Néanmoins, la réflexion sur le passage d'un travail salarié à un travail indépendant est déjà enclenchée, et j'imagine l'amorce prochaine d'une période de transition, peut être sous la forme d'un contrat de collaboration libérale avec le Studio Akkerhuis si l'opportunité se présentait. J'ai par ailleurs la conviction qu'une agence d'architecture se forme dans l'association de compétences diverses, et souvent dans la sérendipité d'accidents heureux et de rencontres fortuites. Je souhaiterais aussi avoir l'occasion et la chance de développer une pratique intervenant dans une variété de milieux socio-économiques, et notamment de mobiliser mon savoir faire dans le cadre de projets modestes, au Maroc, pays où je suis né et où j'ai grandi. L'architecture, expression de la culture, doit aussi avoir une utilité sociale; et cette utilité, chère à mes yeux, pourrait se

concrétiser par la conception éco-responsable d'espaces dont le confort et la beauté seraient accessibles à tous, dans des environnements nouveaux, ré-inventés et résiliants. Cette vision professionnelle, qui renvoie au *quoi*, à la mission de mon cœur de métier et à mes convictions personnelles, ne peut se concrétiser à mes yeux sans la nécessaire ouverture du champ des possibles, permise par la maîtrise du *comment*, de mon outil de travail : l'outil informatique, le BIM au sein du VDC, et ses outils et procédés annexes.

Une maîtrise des outils numériques de conception, associée à une approche attentive et curieuse des exigences contemporaines, ainsi qu'un vif intérêt pour le génie du lieu, son histoire, ses pratiques sociales et vernaculaires, permettraient à l'architecte maître d'œuvre de s'épanouir dans la conception soutenable d'espaces

et d'ouvrages réfléchis, humbles, durables, et qui ne cèdent pas aux extravagances formelles de l'époque. Le BIM, *in abstracto*, se rapporte à un langage, codifié, normé et complexe, fonctionnant sur un principe d'objets renseignés, utilisés au sein de la maquette en association et en imbrication, à l'instar de mots dans une œuvre littéraire, ou de notes sur une partition musicale. Il constitue ainsi un système qui bien que codifié, permettrait à une maîtrise d'œuvre pleinement équipée et émancipée, d'exprimer sa créativité formelle, spatiale et intellectuelle, en élaborant une forme de pensée personnelle et indépendante.

C'est du moins l'hypothèse que je fais à la fois pour ma pratique actuelle et à venir, et pour l'Architecture en tant que profession.

PÉRIODE	du 01.12.2017 au 31.08.2018 - 09 Mois
NOM DU PROJET	Pathé Palace
AGENCE	Renzo Piano Building Workshop
PROGRAMME	Bureaux - Salles de Cinéma
SURFACE	8000 m ²
LIEU	Paris, 75009, France
PHASES ABORDÉES	Esquisse - APS - Permis de Construire
MAITRISE D'OUVRAGE	Pathé - Jérôme Serydoux
TÂCHES	<ul style="list-style-type: none"> • Développement des documents graphiques ESQ & APS (Plans, Coupes, Élévations, Axonométries, Schémas) • Participation aux réunions avec les bureaux d'études • Traduction spatiale des éléments majeurs du programme • Traduction Spatiale du Plan Local d'Urbanisme
SUJETS ABORDÉS	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place de la maquette BIM et veille sur sa bonne tenue • Verrière centrale et atrium • Sécurité incendie, accessibilité, et dégagements • Compilation du Dossier de Permis de Construire

PÉRIODE	du 01.12.2017 au 31.08.2018 - 09 Mois
NOM DU PROJET	Pathé Palace
AGENCE	Renzo Piano Building Workshop
PROGRAMME	Bureaux - Salles de Cinéma
SURFACE	8000 m²
LIEU	Paris, 75009, France
PHASES ABORDÉES	APD - PRO
MAITRISE D'OUVRAGE	Pathé - Jérôme Serydoux
TÂCHES	<ul style="list-style-type: none">• Développement des documents graphiques APD & PRO (Plans, Coupes, Élévations, Détails)• Participation aux réunions avec les bureaux d'études et la maîtrise d'ouvrage• Recherche de solutions architecturales et techniques• Définition des principes constructifs de la verrière en coordination avec le bureau d'études structure
SUJETS ABORDÉS	<ul style="list-style-type: none">• Verrière centrale et atrium• Sécurité incendie, accessibilité, et dégagements• Salle de projection sphérique• Détails des types de murs et de plancher

PÉRIODE	du 15.06.2019 au 31.12.2019 - 6.5 Mois
NOM DU PROJET	Meelfabriek, Singel Tower
AGENCE	Studio Akkerhuis
PROGRAMME	Centre Culturel - Bureaux - Logements - Hotel
SURFACE	55000 m². Singel Tower : 5000 m²
LIEU	Leiden, 2316, Pays Bas
PHASES ABORDÉES	PRO
MAITRISE D'OUVRAGE	Van Der Wiel
TÂCHES	<ul style="list-style-type: none">• Nettoyage et Purge de la Maquette BIM• Développement des documents graphiques PRO (Plans, Coupes, Élévations, Détails)• Recherche de solutions techniques et architecturales ainsi que leurs conditions de mise en œuvre.
SUJETS ABORDÉS	<ul style="list-style-type: none">• Détails de façades, d'accroches, et d'étanchéité• Verrière centrale et atrium• Tableaux de fenêtres et de portes

PÉRIODE	du 01.01.2020 au 31.01.2021 - 12 Mois
NOM DU PROJET	Tour Mohammed 06
AGENCE	Studio Akkerhuis
PROGRAMME	ERP Mixte - Bureaux - Logements - Hotel
SURFACE	80000 m ²
LIEU	Rabat, 10000, Maroc
PHASES ABORDÉES	PRO - DCE Gros Œuvre
MAÎTRISE D'OUVRAGE	O Tower
TÂCHES	<ul style="list-style-type: none"> • Développement des documents graphiques PRO Gros Œuvre (Plans, Coupes, Élévations, Détails) • Recherche de solutions techniques et architecturales ainsi que leurs conditions de mise en œuvre. • Organisation et participation active aux réunions de coordination et de synthèse BIM avec les bureaux d'étude
SUJETS ABORDÉS	<ul style="list-style-type: none"> • BIM Management et mise en place des standards de travail • Coordination spatiale et synthèse BIM • Détails des Water Features du projet (Lames d'eau, Fontaines, Piscines) • Détails d'étanchéité et des interfaces intérieur/extérieur

PÉRIODE	du 01.01.2020 au 31.01.2021 - 07 Mois
NOM DU PROJET	Tour Mohammed 06
AGENCE	Studio Akkerhuis
PROGRAMME	ERP Mixte - Bureaux - Logements - Hotel
SURFACE	80000 m ²
LIEU	Rabat, 10000, Maroc
PHASES ABORDÉES	PRO - DCE Second Œuvre
MAÎTRISE D'OUVRAGE	O Tower
TÂCHES	<ul style="list-style-type: none"> • Développement des documents graphiques PRO Second Œuvre (Plans, Coupes, Élévations, Détails) • Recherche de solutions techniques et architecturales ainsi que leurs conditions de mise en œuvre. • Organisation et participation active aux réunions de coordination et de synthèse BIM avec les bureaux d'étude
SUJETS ABORDÉS	<ul style="list-style-type: none"> • BIM Management • Coordination spatiale et synthèse BIM • Coordination des terminaux de plafond • Finalisation des Détails des Water Features du projet (Lames d'eau, Fontaines, Piscines) • Finalisation des Détails d'étanchéité et des interfaces intérieur/extérieur • Détails d'agencements et de mobilier • Extraction des quantités des finitions et métrés depuis la maquette BIM via scripting Dynamo • Extraction des surfaces utiles et de plancher

PÉRIODE	du 01.01.2020 au 31.01.2021 - 07 Mois
NOM DU PROJET	De Beyart
AGENCE	Studio Akkerhuis
PROGRAMME	Résidence Seniors
SURFACE	35000 m ²
LIEU	Maastricht, 6211, Pays Bas
PHASES ABORDÉES	BIM
MAITRISE D'OUVRAGE	Rosewood
TÂCHES	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place de la stratégie de BIM Management • Rédaction du BIM Exécution Plan (Charte BIM) • Organisation des réunions de démarrage BIM et coordination des intervenants au projet
SUJETS ABORDÉS	<ul style="list-style-type: none"> • BIM Managment

PÉRIODE	du 01.09.2021 au 31.01.2022 - 05 Mois
NOM DU PROJET	Water Front Mixed Use Hub
AGENCE	Studio Akkerhuis
PROGRAMME	Socle Culturel - Bureaux - Hotel - Logements
SURFACE	20000 m ²
LIEU	Willemstad, 4797, Curaçao
PHASES ABORDÉES	Esquisse dans le cadre d'un Master Plan
MAITRISE D'OUVRAGE	APC (Algemeen Pensioenfond Van Curaçao)
TÂCHES	<ul style="list-style-type: none"> • Développement des documents graphiques ESQ (Plans, Coupes, Élévations, Axonométries, Schémas) • Traduction spatiale des éléments majeurs du programme
SUJETS ABORDÉS	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place de la maquette BIM • Centre d'art • Espace pour Performances • Bureaux

PÉRIODE	du 01.02.2022 au 28.02.2022 - 01 Mois
NOM DU PROJET	Ospedale Ragusa
AGENCE	Studio Akkerhuis
PROGRAMME	Hôpital
SURFACE	12000 m²
LIEU	Ragusa, 97100, Italie
PHASES ABORDÉES	Concours
MAITRISE D'OUVRAGE	Azienda Sanitaria Provinciale Di Ragusa
TÂCHES	<ul style="list-style-type: none">• Développement des documents graphiques concours (Plans, Coupes, Élévations, Axonométries, Schémas)• Recherche de solutions spatiales en équipe afin de répondre aux exigences du programme
SUJETS ABORDÉS	<ul style="list-style-type: none">• Tenue de la maquette BIM et adaptation des usages pour un travail d'esquisse en phase concours• Communication et direction des perspectivistes• Aspect Paysager• Toiture• Approche Environnementale

PÉRIODE	du 01.03.2022 à Aujourd'hui
NOM DU PROJET	6RDL Expansion and 8RDL Head Office Remodel
AGENCE	Studio Akkerhuis
PROGRAMME	Bureaux - Centre Culturel
SURFACE	18000 m²
LIEU	Paris, 75009, France
PHASES ABORDÉES	APS
MAITRISE D'OUVRAGE	Confidentielle
TÂCHES	<ul style="list-style-type: none">• Développement des documents graphiques APS (Plans, Coupes, Élévations, Axonométries, Schémas)• Développement de plusieurs options programmatiques• Participation aux réunions avec les bureaux d'étude et la maitrise d'ouvrage• Traduction Spatiale des éléments majeurs du programme• Traduction Spatiale du PLU• Mise en place de la stratégie de BIM Management• Rédaction du BIM Execution Plan• Organisation des réunions de démarrage BIM et coordination des intervenants au projet
SUJETS ABORDÉS	<ul style="list-style-type: none">• BIM Management• Programme Culturel et Évènementiel

Aish, N.

" *Three-dimensional input and visualization. In: Computer-Aided Architectural Design Futures.* "

London, Butterworths, 1986

Arene O.

" *Le BIM est la dernière chance des architectes de re-devenir les maîtres d'œuvre qu'ils ont cessé d'être* "

AMC Archi, 2015,

[en ligne]

<https://www.amc-archi.com/article/le-bim-est-la-derniere-chance-des-architectes-de-re-devenir-les-maitres-d-uvre-qu-ils-ont-cesse-d-etre-par-olivier-arene-architecte,1552>

Autodesk,

" *Autodesk to Acquire Revit Technology Corporation* "

2002

[En Ligne]

<https://archive.ph/20120710054143/http://investors.autodesk.com/phoenix.zhtml?c=117861&p=irol-newsArticle&ID=261618>

Autodesk,

" *The Laiserin Letter.* "

2002

[En Ligne]

http://www.laiserin.com/features/bim/autodesk_bim.pdf

BimInMotion

" *De Nouveaux Standards Internationaux en BIM* "

[En Ligne]

<https://www.biminmotion.fr/le-blog-bim/nouveaux-standards-internationaux-bim>

Bim-Manager.fr,

" *Que sont les dimensions BIM – Explication du BIM 3D, 4D, 5D, 6D et 7D* "

[En Ligne]

<https://bim-manager.fr/que-sont-les-dimensions-bim-explication-du-bim-3d-4d-5d-6d-et-7d/>

Chesneau I.

" *La profession libérale d'architecte* ", dans *Profession Architecte : Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Économie – Chantier* "

Paris, Eyrolles, 2018

Chone P., Colin C., Delaplace M., Kenel-Pierre X., Thome N.

" *Révolution numérique dans le bâtiment: : analyse des gains escomptés par la diffusion des outils numériques (BIM et maquette numérique) dans le secteur du bâtiment.*"

2016

Cristia E.

" *Projet architectural et maquette numérique BIM : Enquête ethnographique au sein d'un grand projet de construction.*"

Architectures Matérielles [cs.AR]. HESAM Université, 2020.

Decommer M.

" *L'entreprise libérale d'architecture* ", dans " *Profession Architecte : Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Économie – Chantier* "

Paris, Eyrolles, 2018, pp. 421-425.

Delcambre B.

" *Rapport Mission numérique Bâtiment* "

2014

[en ligne]

<https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/154000066.pdf>

Demilecamps E.

Rapport du " Projet National MINnD – Modélisation des INformations INteropérables pour les INFrastructures Durables "

Thème 4 : BIM : aspects juridiques et contractuels

Avril 2019

Didelon V.

" *L'empire du BIM* "

Criticat, 2014, n°13, pp. 70-85.

Eastman C.

" *Building product models: computer environments supporting design and construction* "

Boca Raton, Fla, CRC Press, 1999.

Eastman , C., Teicholz , P., Sacks , R. & Liston , K.

" *BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors.*"

New Jersey: Wiley. 2008

Ekholm, A., & Häggström, L.

" *Building classification for BIM – Reconsidering the framework.*"

2011

Engelbart, D. C.

" *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework. Summary Report AFOSR-3223 under Contract AF 49(638)-1024, SRI Project 3578 for Air Force Office of Scientific Research. Menlo Park, Ca., Stanford Research Institute.*"

1962

[En Ligne]

https://www.doungengelbart.org/pubs/papers/scanned/Doug_Engelbart-AugmentingHumanIntellect.pdf

Ferries B.

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

Mai 2019

[en ligne]

https://www.researchgate.net/profile/Bernard_Ferries/publication/333175287_Outils_et_methode_pour_la_production_collaborative_de_ressources_pedagogiques_pour_lenseignement_du_BIM/links/5cdeea01299bf14d95a2f99f/Outils-et-methode-pour-la-production-collaborative-de-ressources-pedagogiques-pour-lenseignement-du-BIM.pdf

Hochscheid E., Halin G.

" BIM implementation in architecture firms : Interviews, case studies and action research used to build a method that facilitates implementation of BIM processes and tools ", dans *Proceedings of the 36th eCAADe annual conference, Lodz*

2018, pp. 10,

[En Ligne]

http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2018_284.pdf

Hochscheid E. et Halin G.

" Les agences d'architecture françaises à l'ère du BIM : contradictions, pratiques, réactions et perspectives "

Les Cahiers de la recherche architecturale urbaine et paysagère, Décembre 2020

[En ligne]

<https://doi.org/10.4000/craup.6201>

Howard, R.

Classification of building information- European and IT systems. Dans B. F. Coetzee G (Ed.), Proceedings of IT in construction in Africa.

ITC Digital Library, 2001

[En Ligne]

<http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2001-12.content.pdf>

Huet M.

" L'environnement numérique du bâtiment ", dans " Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Économie – Chantier "

Paris, Eyrolles, 2018, pp. 410-419.

Levy-Bencheton J.

" L'occasion de reprendre la maîtrise du projet "

AMC Archi, 2015,

[en ligne]

<https://www.amc-archi.com/article/l-occasion-de-reprendre-la-maitrise-du-projet-par-jacques-levy-bencheton-architecte-associe-et-bim-manager-brunet-saunier-architecture-paris,1528>

Marrey, B.

" Architecte : du maître de l'œuvre au disagneur. "

Paris, Édition du Linteau. 2013.

Ministère de la Cohésion des Territoires,

" Plan BIM 2022 "

[En Ligne]

<https://www.cohesion-territoires.gouv.fr/sites/default/files/2019-07/Plan%20BIM%202022.pdf>

Ministère de la Transition Écologique

" RE2020, Éco-Construire pour le Confort de Tous "

[En Ligne]

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2021.02.18_DP_RE2020_EcoConstruire_0.pdf

Le Moniteur, Cahier Pratique,

" *BIM/Maquette Numérique. Contenu et Niveaux de Développement.* "

09 Mai 2014, Le Moniteur n°5763 - Cahier détaché n°2

[En Ligne]

<https://www.syntec-ingenierie.fr/wp-content/uploads/2019/06/2014-05-09-cahier-moniteur-bim-maquette-contenu-niveau-developpement.pdf>

Ordre des Architectes

" *Le BIM, une évolution révolutionnaire?* "

[En Ligne]

<https://bimgestiondupatrimoine.files.wordpress.com/2014/02/2014-01-15-note-bim-1.pdf>

Pican X.

" *Droit du Numérique & Bâtiment* "

[En Ligne]

http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/Rapport_VF____droit_du_numerique_et_batiment.pdf

Picon A.

" *Culture numérique et architecture. Une Introduction* "

Basel, Birkhäuser, 2010.

Prost R., Chaslin F.

" *Pratiques de projet en architecture : le tournant silencieux : essai* "

Gollion, Infolio, 2014.

PTNB,

" *Guide de Recommandation du PTNB* "

[En Ligne]

http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/PTNB_-_Guide_Methodo_MOA.pdf

Quirk, V.

" *A Brief History of BIM.* "

2012

[En Ligne]

<https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>

Sattler L.

" *L'ère Post-BIM — Pour une obsolescence déprogrammée: une étude de cas de deux projets de Frank Gehry en France, de 2008 à 2016* "

Janvier 2018

Seitz F.

" *Les rapports entre architectes et ingénieurs en France : l'Exposition universelle de 1889* "

Revue d'histoire moderne et contemporaine, 1992, vol. 39, n°3.

Simonin C.

" *La fabrique de la norme et ses recompositions* ", dans " *Profession Architecte : Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Économie – Chantier* "

Paris, Eyrolles, 2018, pp. 271-279.

Sterlin X.

" *À qui profite le BIM ?* "

AMC Archi, 2015,

[en ligne]

<https://www.amc-archi.com/article/a-qui-profite-le-bim-par-xavier-sterlin-espaces-libres-architecture-paris,1618>

Succar B.

" *Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders* "

Automation in Construction, 1 Mai 2009, vol. 18, n°3, pp. 357-375

Tapie G.

" Les architectes : mutations d'une profession "

Paris, L'Harmattan (Logiques sociales), 2000

Tripier P.

" L'architecture comme profession : comprendre les rapports de force ", dans "Profession Architecte : Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Économie – Chantier"

Paris, Eyrolles, 2018, pp. 69-72.

Van Nederveen, G.A. and Tolman, F.P.

" Modelling Multiple Views on Buildings. Automation in Construction, 1, 215-224. "

1992

Zacklad, E.

" Les Enjeux de la transition numérique et de l'innovation collaborative dans les mutations du travail et du management dans le secteur public » dans « Travailler dans les services publics: la nouvelle donne "

2020

Zacklad, E. Alemanno S.P. Ihadjadene M.

" Transition Numérique, une approche info-communicationnelle? " dans « Approches théoriques en information-communication »

2020

...

TEL L'INÉVITABLE PRÉMONITION D'UN ORACLE, CE RENVERSEMENT DES RAPPORTS DE FORCE POURRAIT CONDUIRE LA PROFESSION À COMINAÎTRE CE QUE CERTAINS CRAIGNENT LE PLUS AVEC UNE GÉNÉRALISATION DU BIM : L'APPAUVRISSEMENT DE LA PROPOSITION ARCHITECTURALE ET DU CHAMP D'ACTION DE L'ARCHITECTE MAÎTRE D'ŒUVRE. LE BIM, SI MAÎTRISÉ, PEUT NÉANMOINS CONSTITUER UN LANGAGE À L'INTÉRIEUR DUQUEL L'ARCHITECTE RETROUVERA UN POUVOIR D'ACTION, UN REMPART TECHNIQUE AFIN D'EXPRIMER SA CRÉATIVITÉ ET SON ORIGINALITÉ TOUT EN RÉPONDANT AUX COMPLEXES EXIGENCES DE L'ÉPOQUE.

...

LE BIM, IN ABSTRACTO, SE RAPPORTE À UN LANGAGE, CODIFIÉ, NORIMÉ ET COMPLEXE, FONCTIONNANT SUR UN PRINCIPE D'OBJETS RENSEIGNÉS, UTILISÉS AU SEIN DE LA MAQUETTE EN ASSOCIATION ET EN IMBRICATION, À L'INSTAR DE MOTS DANS UNE ŒUVRE LITTÉRAIRE, OU DE NOTES SUR UNE PARTITION MUSICALE. IL CONSTITUE AINSI UN SYSTÈME QUI BIEN QUE CODIFIÉ, PERMETTRAIT À UNE MAÎTRISE D'ŒUVRE PLEINEMENT ÉQUIPÉE ET ÉMANCIPÉE, D'EXPRIMER SA CRÉATIVITÉ FORMELLE, SPATIALE ET INTELLECTUELLE EN ÉLABORANT UNE FORME DE PENSÉE PERSONNELLE ET INDÉPENDANTE.

...



École nationale supérieure
d'architecture Paris-Malaquais

